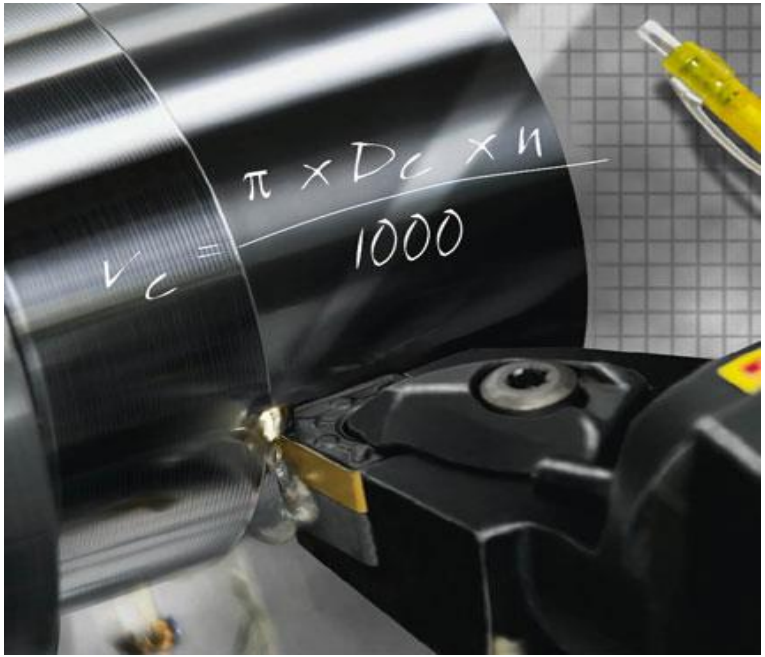
Metal Cutting Technology

การฝึกอบรม เทคโนโลยีการตัดเฉือนโลหะ



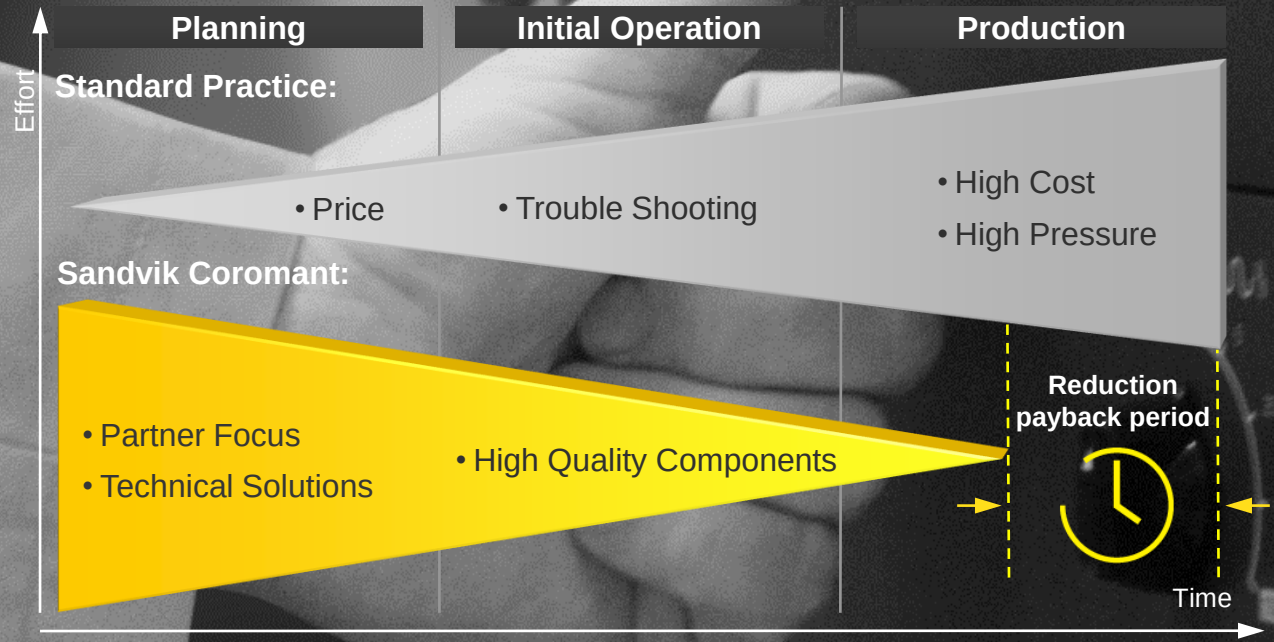
Training outcome เป้าหมายการฝึกอบรม

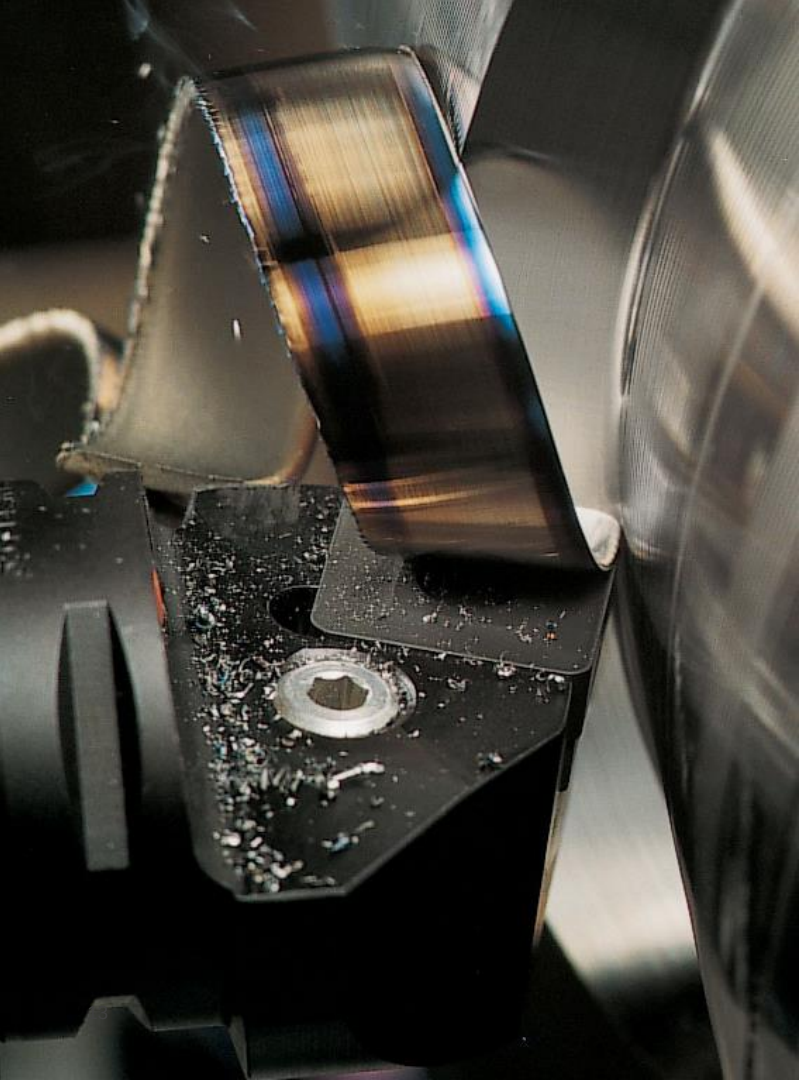
- ให้ข้อมูลและความรู้เบื้องต้นของงานตัดเฉือนโลหะ (กลึง กัด เจาะ)
- ให้ข้อมูล และความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการตัดเฉือนแบบต่างๆ
- ให้ข้อมูลด้านเทคนิค การเลือกใช้เครื่องมือในแต่ละกระบวนการทำงาน
- ให้ข้อมูลการเลือกใช้งานค่าตัวแปรการตัดเฉือน (cutting data)
- ให้ข้อมูลการคำนวณ และสูตรสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานตัดเฉือนโลหะ

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

Machine Investment Support

Right from the Start





Basic factors of metal cutting

» Workpiece material วัสดุชิ้นงาน

» The cutting edge ลักษณะคมตัด

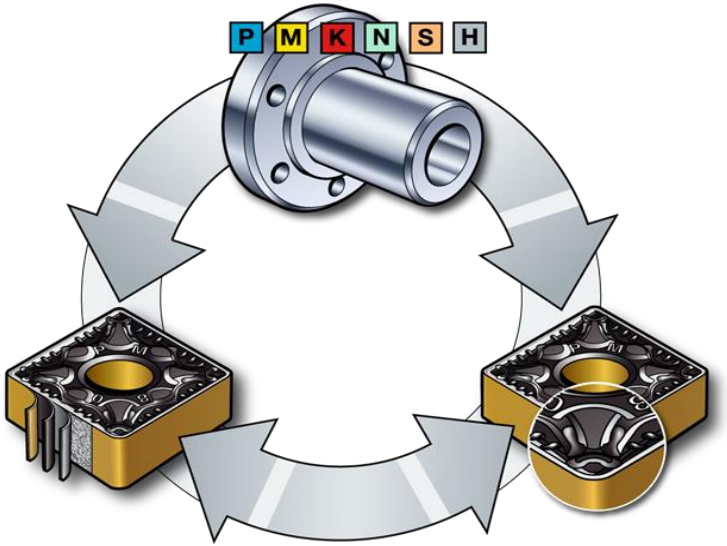
» Cutting tool materials วัสดุเครื่องมือ

» Manufacturing of cemented carbide กระบวนการผลิตเม็ดมีด

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

Workpiece materials

วัสดุของชิ้นงาน



เพื่อที่จะทำการตัดเฉือนโลหะอย่างมีประสิทธิภาพ การรู้จักคุณลักษณะของวัสดุชิ้นงาน จะช่วยให้สามารถเลือกหน้าลาย และ เกรดของเม็ดมีดได้อย่างเหมาะสมสำหรับลักษณะการทำงานนั้นๆ

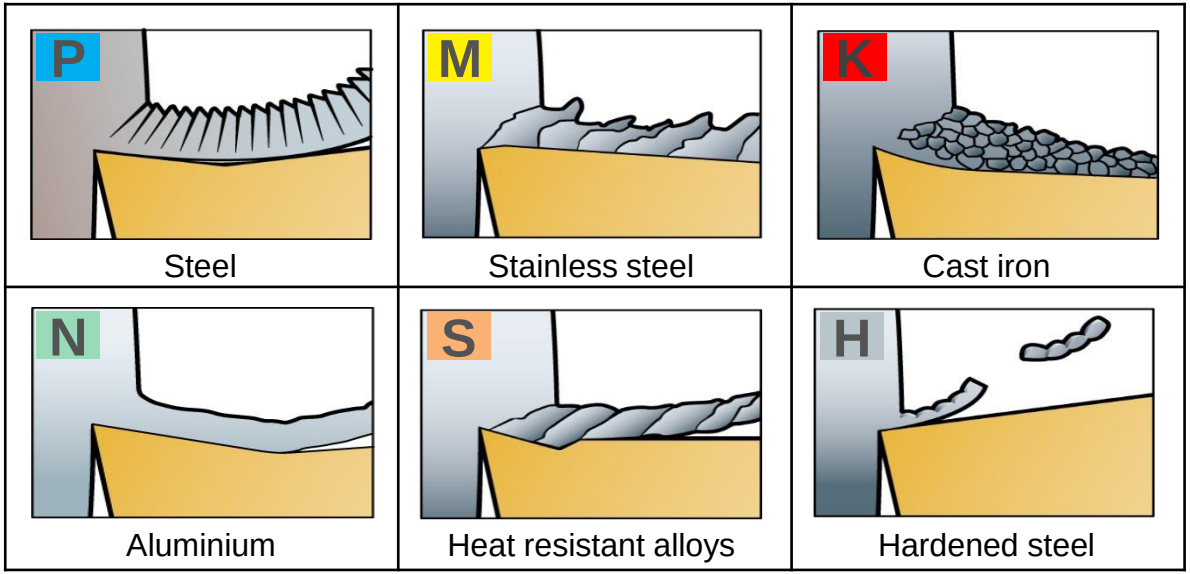
Six main groups of workpiece materials

หกกลุ่มวัสดุหลักในงานตัดเฉือนโลหะ

P **Steel** เหล็กเหนียว	**M** **Stainless steel** สแตนเลส	**K** **Cast iron** เหล็กหล่อ
N **Aluminium** อลูมิเนียม	**S** **Heat resistant alloys** เหล็กอัลลอยด์ทนความร้อน	**H** **Hardened steel** เหล็กชุบแข็ง

Six main groups of workpiece materials

ลักษณะการฟอร์มเศษที่ต่างกันในแต่ละวัสดุ



Many parameters influence the cutting process

ปัจจัยต่าง ๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการตัดเฉือน

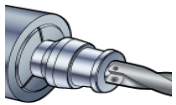
Workpiece material

- **P** Steel
- **M** Stainless steel
- **K** Cast iron
- **N** Aluminum
- **S** Heat resistant alloys
- **H** Hardened steel

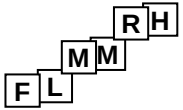
Application

Turning

Milling



Drilling

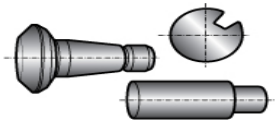


Roughing/Heavy งานกลึงหยาบ

Medium งานกลึงทั่วไป

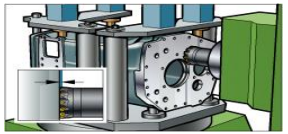
Finishing/Light งานกลึงละเอียด

Conditions



Cutting conditions

ลักษณะของชิ้นงาน



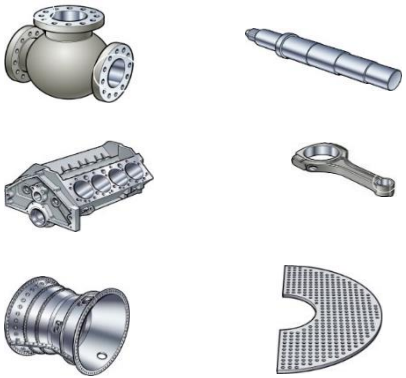
Clamping conditions

ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

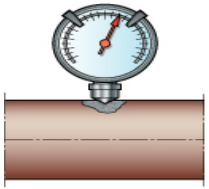
Many parameters influence the cutting process

ปัจจัยต่าง ๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการตัดเฉือน

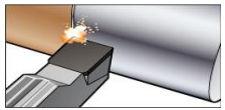
Component
รูปร่างชิ้นงาน



Hardness
ความแข็งของวัสดุ

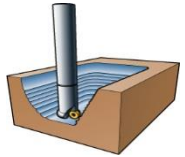


Hardness Brinell



Cutting environment
ปัจจัยด้านการหล่อเย็น

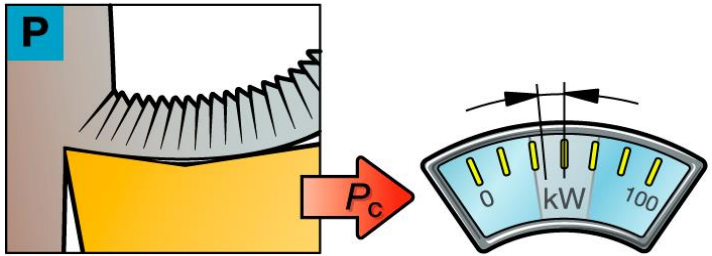
Coolant



Dry machining

Steel ISO-P

ลักษณะเด่นของวัสดุเหล็กเหนียว



เหล็กเหนียวคืออะไร

- เหล็กเหนียวเป็นกลุ่มวัสดุที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด
- เหล็กเหนียวสามารถทำการชุบแข็งได้จนถึง 400 HB
- เหล็กเหนียวประกอบด้วยธาตุเหล็ก (Fe) เป็นส่วนผสมหลัก
- เหล็กไม่อัลลอยด์ (Unalloyed steels) จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่เกิน 1,7% และไม่มีการเจือผสมธาตุอื่น
- เหล็กอัลลอยด์ (Alloyed steels) จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่เกิน 1,7 % และเจือธาตุอื่นๆ เช่น Ni, Cr, Mo, V, W

ลักษณะการตัดเฉือนเหล็กเหนียว

- ให้เศษค่อนข้างยาว แต่การควบคุมเศษไม่ยากนัก
- เหล็กคาร์บอนต่ำจะเหนียวกว่าเหล็กทั่วไป และต้องการขอบคมตัดที่คม
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force) k_c :1500-2000 N/mm^2
- แรงตัดเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าปานกลาง

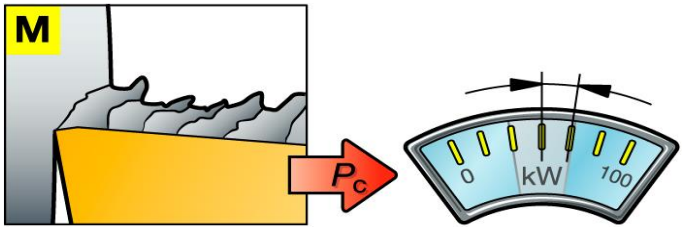
ISO	MC	Material
P	P1.	Unalloyed steel
	P2.	Low-Alloy steel (< 5% alloying elements)
	P3.	High-alloy steel (> 5% alloying elements)
	P4.	Sintered steels

Turning of steel, ISO - P

Typical chipbreaking sequences with high speed imaging

Stainless steel ISO-M

ลักษณะเด่นของวัสดุสแตนเลส



สแตนเลสคืออะไร

- สแตนเลสมีส่วนผสมของโครเมียม min 11-12%
- ปกติจะมีเปอร์เซนต์คาร์บอนต่ำ (down to max 0.01%)
- อัลลอยด์หลักๆได้แก่ Ni (Nickel), Mo (Molybdenum), และ Ti (Titanium)
- ชั้นของโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3 layer) ที่อยู่บนพื้นผิววัสดุช่วยป้องกันการกัดกร่อน และเกิดสนิม

ลักษณะการตัดเฉือนสแตนเลส

- ให้เศษที่ยาว และควบคุมได้ยาก
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force): 2100-3550 N/mm^2
- การตัดเฉือนก่อให้เกิดแรงตัดที่สูง และมักมีการพอกตัวบนเม็ดมีด

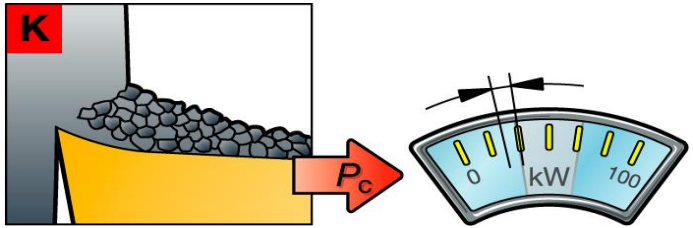
ISO	MC	Material
M	P5	Ferritic/Martensitic stainless steel
	M1	Austenitic stainless steels
	M2	Super-austenitic, Ni≥20%
	M3	Duplex austenitic/ferritic

Turning of stainless steel, ISO - M

Typical chipbreaking sequences with high speed imaging

Cast Iron ISO-K

ลักษณะเด่นของวัสดุเหล็กหล่อ



เหล็กหล่อคืออะไร

- เหล็กหล่อมีอยู่สามประเภทหลัก grey (GCI), nodular (NCI) และcompacted graphite (CGI)
- เหล็กหล่อจะมีเปอร์เซนต์ของซิลิกอนสูง high content of Si (1-3%)
- มีส่วนผสมของคาร์บอนมากกว่า 2%
- Cr (Chromium), Mo (Molybdenum), and V (Vanadium) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้วัสดุ แต่ของทำให้ตัดเฉือนได้ยากขึ้น

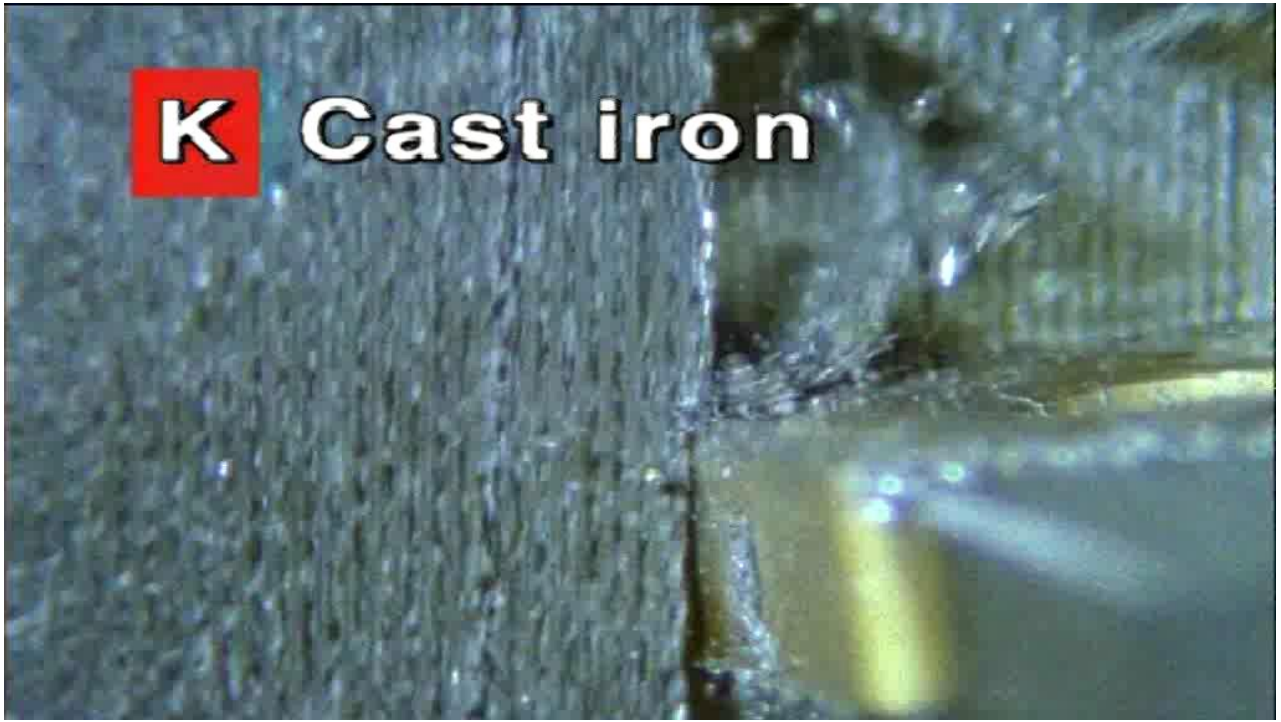
ลักษณะการตัดเฉือนเหล็กหล่อ

- ให้เศษสั้น และควบคุมได้ง่าย
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force): 940-2700 N/mm^2
- เกิดการสึกกร่อนได้ง่ายถ้าตัดเฉือนที่ความเร็วสูง
- ก่อให้เกิดแรงตัดเฉือนปานกลาง

ISO	MC	Material
K	K1	Malleable cast iron
	K2	Grey cast iron (GCI)
	K3	Nodular cast iron (NCI)
	K4	Compacted graphite iron (CGI)
	K5	Austempered ductile iron (ADI)

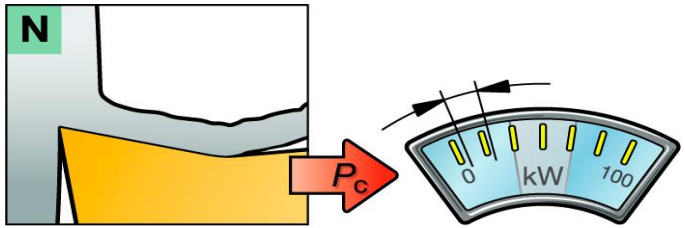
Turning of cast iron, ISO – K

Typical chipbreaking sequences with high speed imaging



Non-ferrous materials ISO-N

ลักษณะเด่นของวัสดุอลูมิเนียม



อลูมิเนียมคืออะไร

- วัสดุกลุ่มนี้มีความแข็งน้อยกว่า 130 HB.
- Aluminium (Al) alloys อาจมีส่วนผสมถึง 22% silicon
- วัสดุจำพวกทองแดง(Copper) และทองเหลือง(brass) ก็รวมอยู่ในกลุ่มนี้
- พลาสติก
- วัสดุผสม Composites (Kevlar)

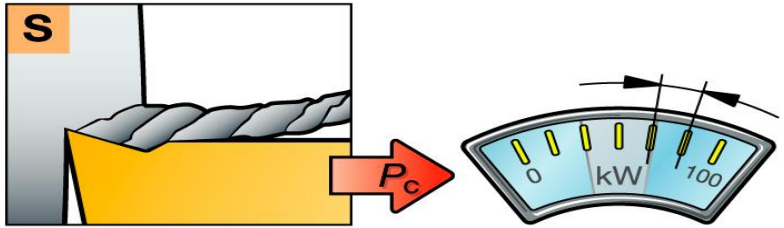
ลักษณะการตัดเฉือนอลูมิเนียม

- ให้เศษยาว แต่ควบคุมได้ง่าย
- อลูมิเนียมมีความเหนียว แต่ไม่แข็ง ทำให้ต้องการขอบคมตัดที่คม
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force): 500-1750 N/mm^2
- ก่อให้เกิดแรงตัดเฉือนต่ำ

ISO	MC	Material
N	N1	Aluminium base alloy
	N2	Magnesium- base alloy
	N3	Copper-base alloy
	N4	Zinc-base alloys

Heat Resistance Super Alloy ISO-S

ลักษณะเด่นของวัสดุอัลลอยด์ทนความร้อน



HRSA คืออะไร

- Heat Resistant Super Alloys (HRSA) เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของ nickel, cobalt หรือ titanium
- แบ่งเป็นสามประเภทหลัก: Fe-based, Ni-based, Co-based
- วัสดุนี้สามารถคงความแข็งแรงไว้ได้ แม้ที่อุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับทำ ชิ้นส่วนที่ต้องทนความร้อน ทนการกัดกร่อนและมีปลอดภัยสูง

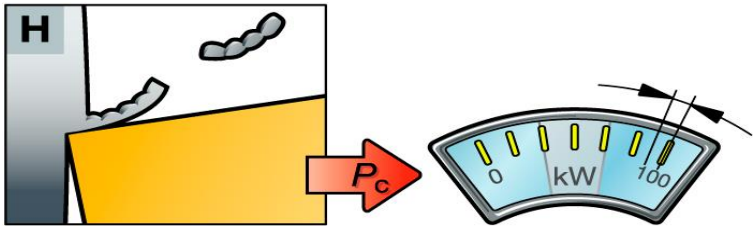
HRSA ลักษณะการตัดเฉือน

- ให้เศษยาว และควบคุมได้ยาก (segmented chips)
- มุมคายที่แหลมของเม็ดมีดจะช่วยในการควบคุมเศษ
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force): 3000-3800 N/mm^2
  - สำหรับ HRSA และ1550-1700 N/mm^2 สำหรับ Titanium
- แรงตัดเฉือนสูง และต้องการเครื่องจักรที่แข็งแรง

ISO	MC	Material
S	S1	Iron base, annealed or solution treated, aged
	S2	Nickel base annealed or solution treated, aged, cast
	S3	Cobalt base, annealed or solution treated, aged, cast
	S4	Titanium alloys
	S5	Tungsten-base alloys
	S6	Molybdenum-base alloys

Hardened steel ISO-H

ลักษณะเด่นของวัสดุเหล็กชุบแข็ง



เหล็กชุบแข็งคืออะไร

- เหล็กชุบแข็งเป็นกลุ่มที่พบไม่บ่อยในงานตัดเฉือน
- วัสดุจะมีความแข็งตั้งแต่ hardness >45 – 65 HRC
- โดยทั่วไปงานกลึงเหล็กชุบแข็งจะพบตั้งแต่ความแข็งที่ 55 – 68 HRC

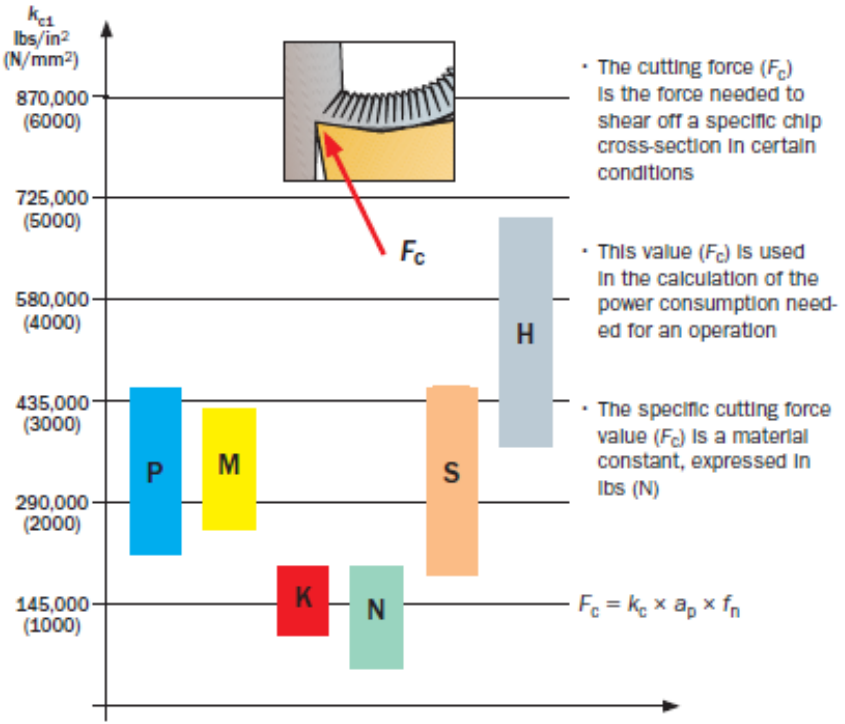
ลักษณะการตัดเฉือนเหล็กชุบแข็ง

- ให้เศษยาว แต่ควบคุมไม่ยากนัก
- ขอบคมตัดของเม็ดมีดต้องการความแข็งแรง มุมคายที่ที่อจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเฉือนได้
- มีแรงตัดเฉือนจำเพาะ (Specific cutting force): 2800 – 5550 N/mm^2
- แรงตัดเฉือนสูงมาก และต้องการเครื่องจักรที่แข็งแรง

ISO	MC	Material
H	H1	Extra hard steel 55-68 HRC
	H2	Chilled cast iron cast
	H3	Stellites
	H4	Ferro-TiC

Specific cutting force k_{c1}

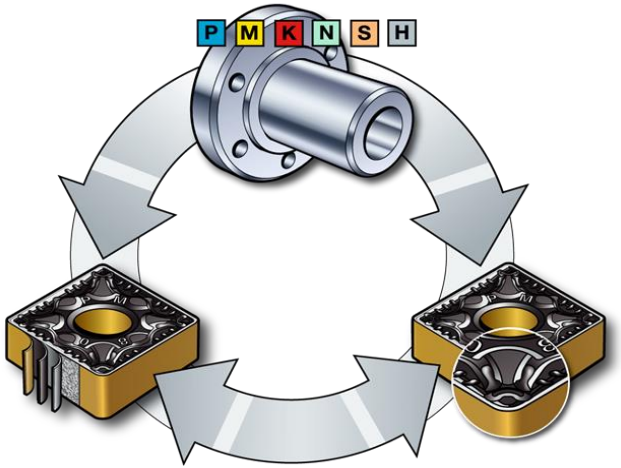
แรงตัดเฉือนจำเพาะ



- คือ แรงตัดเฉือน (F_T) ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการตัดเฉือนวัสดุดังกล่าวที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางมิลลิเมตร
- แรงตัดเฉือนจำเพาะนี้ จะเป็นค่าคงที่สำหรับวัสดุแต่ละประเภทนั้นๆ
- แรงตัดเฉือนจำเพาะนี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณประมาณค่าแรงตัดเฉือนที่จะเกิดขึ้นในงานกลึง กัดเจาะ
- หน่วยของแรงตัดเฉือนจำเพาะ (k_{c1}) เป็น N/mm^2

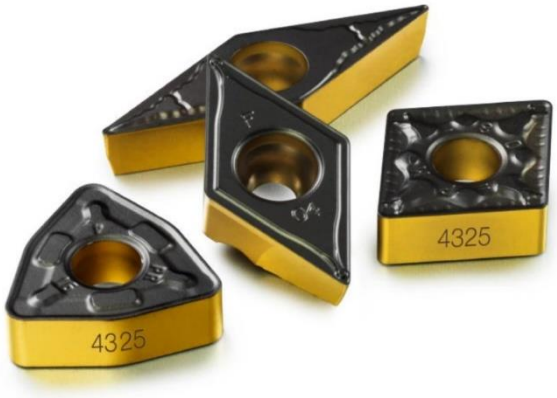
The interaction between workpiece material, geometry and grade

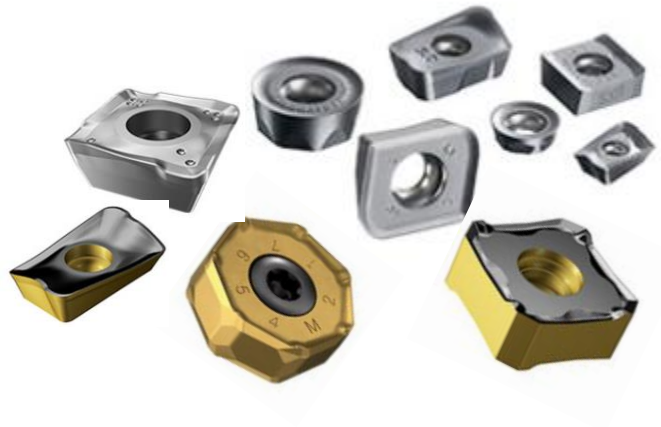
ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุชิ้นงาน หน้าลาย และ เกรดเม็ดมีด



การเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสามสิ่งนี้จะช่วยให้กระบวนการตัดเฉือนโลหะทำได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

การเลือกเครื่องมือตัด จะต้องสัมพันธ์กับตัววัสดุที่จะขึ้นรูป



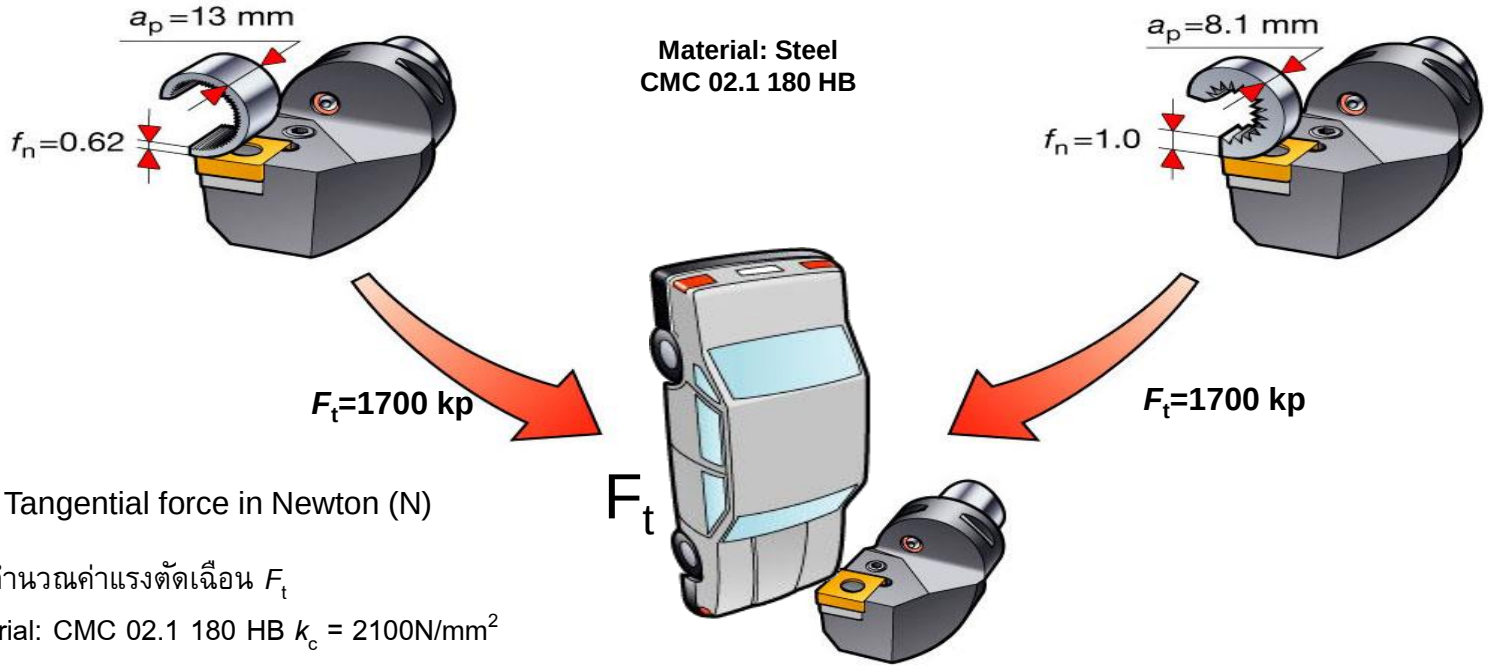


The cutting edge
ขอบคมตัด

การออกแบบของขอบคมตัดและหน้าลายเม็ดมีด มีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการควบคุมเศษโลหะ และอายุการใช้งานของเครื่องมือ

Guess how big the tangential force is on the cutting edge

แรงตัดเฉือนที่เกิดบนเม็ดมีด มีขนาดประมาณเท่าใด



F_t = Tangential force in Newton (N)

การคำนวณค่าแรงตัดเฉือน F_t

Material: CMC 02.1 180 HB k_c = 2100N/mm^2

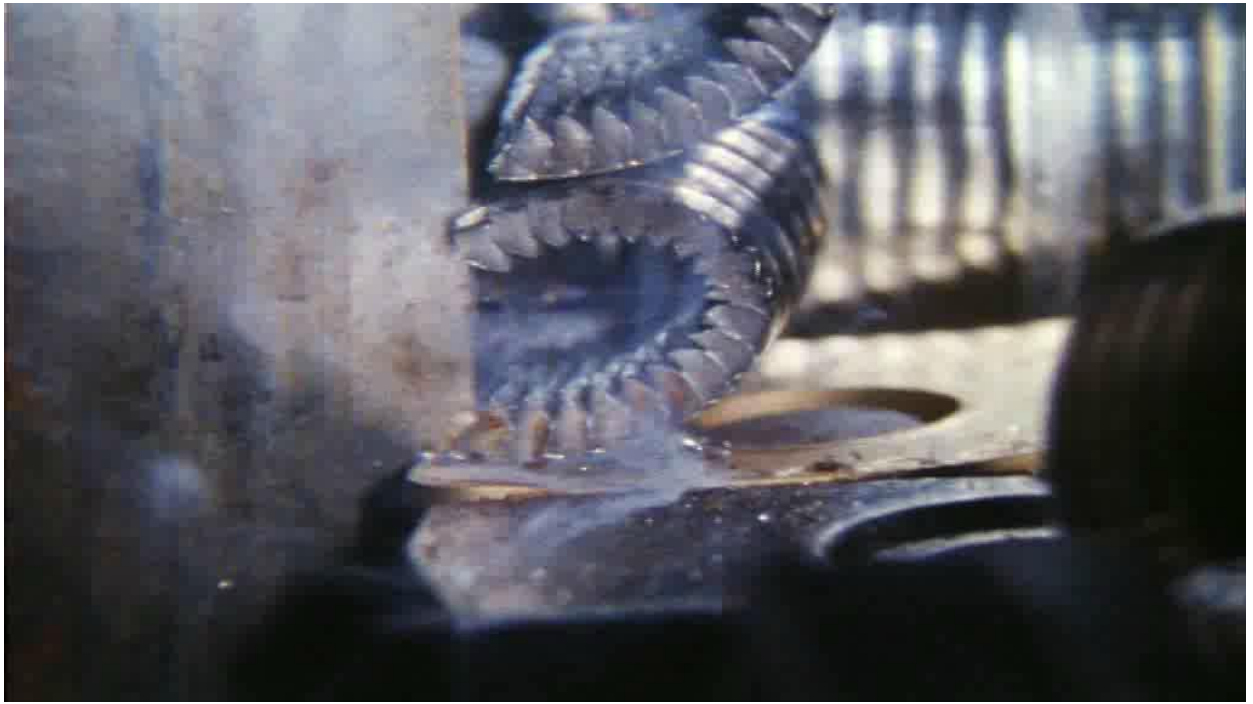
$F_t = k_c \times a_p \times f_n$

F_t = 2100 x 13 x 0.62 = 17000 N (Newton) = 1700 kg = น้ำหนักรถยนต์หนึ่งคัน

The machining starts at the cutting edge

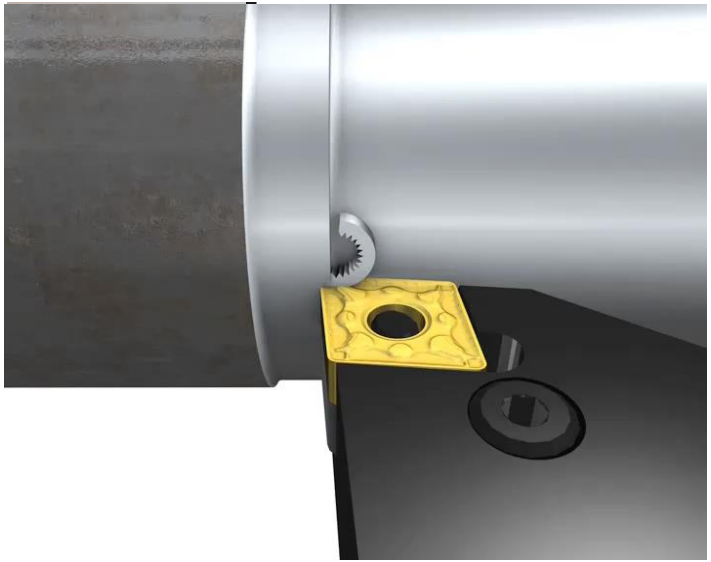
Typical chipbreaking sequences with high speed imaging

ลักษณะการหักเศษที่ถ่ายโดยกล้องความเร็วสูง



Cutting zone temperatures

ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะตัดเฉือนโลหะ



- The rake angle, geometry and feed play an important role in the chip formation process

มุมคายเศษ หน้าลาย และอัตราป้อนมีผลโดยตรงกับการควบคุมเศษโลหะ

- Removing heat from the cutting zone through the chip (80%) is a key issue

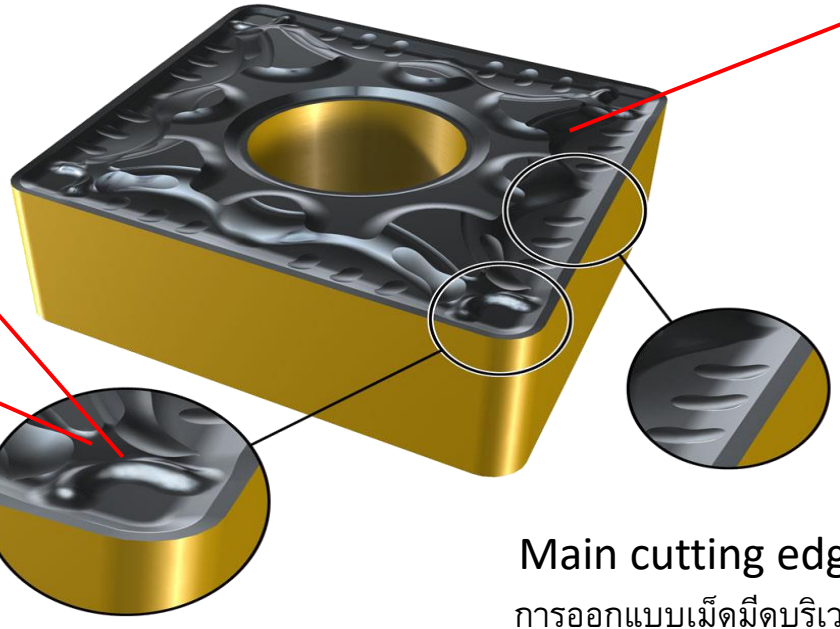
การนำพาความร้อน (80%) ออกจากจุดตัดเฉือนโดยผ่านทางเศษโลหะเป็นเรื่องสำคัญ

- The rest of the heat is usually evenly distributed between the workpiece and the tool.

ความร้อนที่เหลือ จะถูกถ่ายเทอย่างเท่า ๆกันไปที่ชิ้นงาน และเม็ดมีด

Definitions and geometry design

นิยามและความหมายต่าง ๆของหน้าลาย

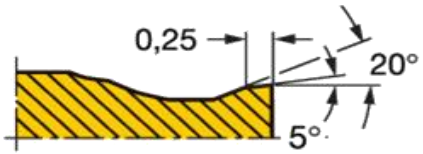


Macro geometry with chipbreaker

Cutting edge reinforcement 0.25 mm

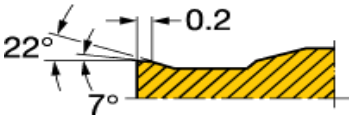
Rake angle 20°

Primary land 5°



Macro geometry with chipbreaker

Geometry for small cutting depths



Nose cutting edge design

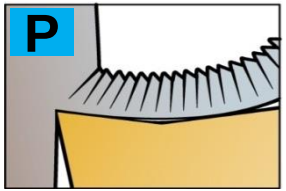
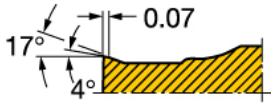
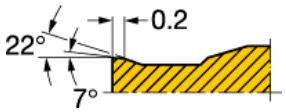
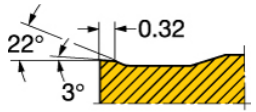
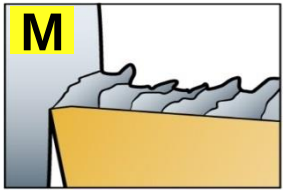
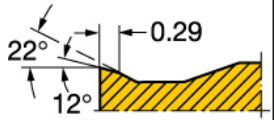
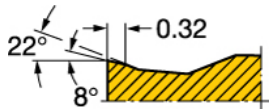
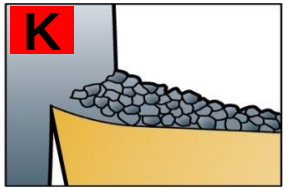
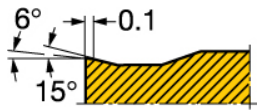
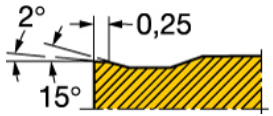
การออกแบบเม็ดมีดบริเวณรัศมีจมูก

Main cutting edge design

การออกแบบเม็ดมีดบริเวณขอบคมตัด

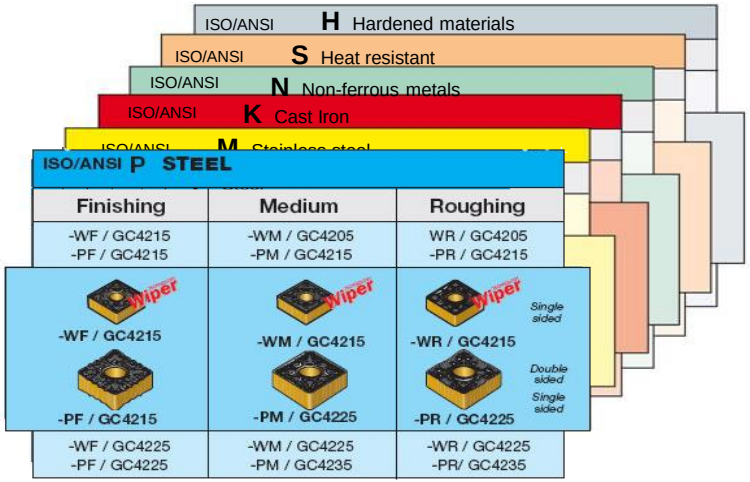
Dedicated inserts for the P, M and K area

ข้อแตกต่างของหน้าลายสำหรับเม็ดมีดในแต่ละวัสดุ เหล็กเหนียว สแตนเลส และเหล็กหล่อ

Workpiece material	**F**inishing	**M**edium	**R**oughing
P 			
M 			
K 			

Dedicated geometries and grades

หน้าลาย และเกรดเม็ดมีด



Material

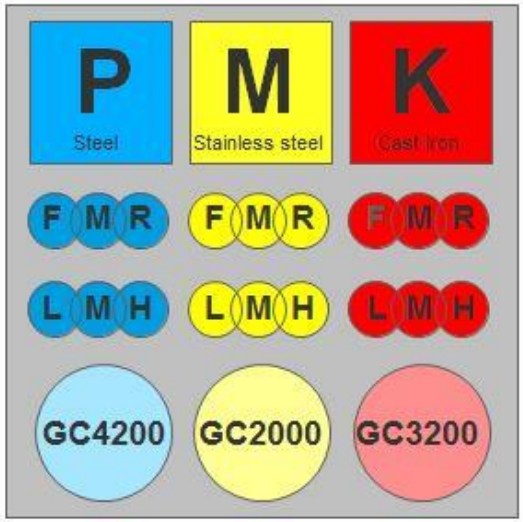
Dedicated geometries

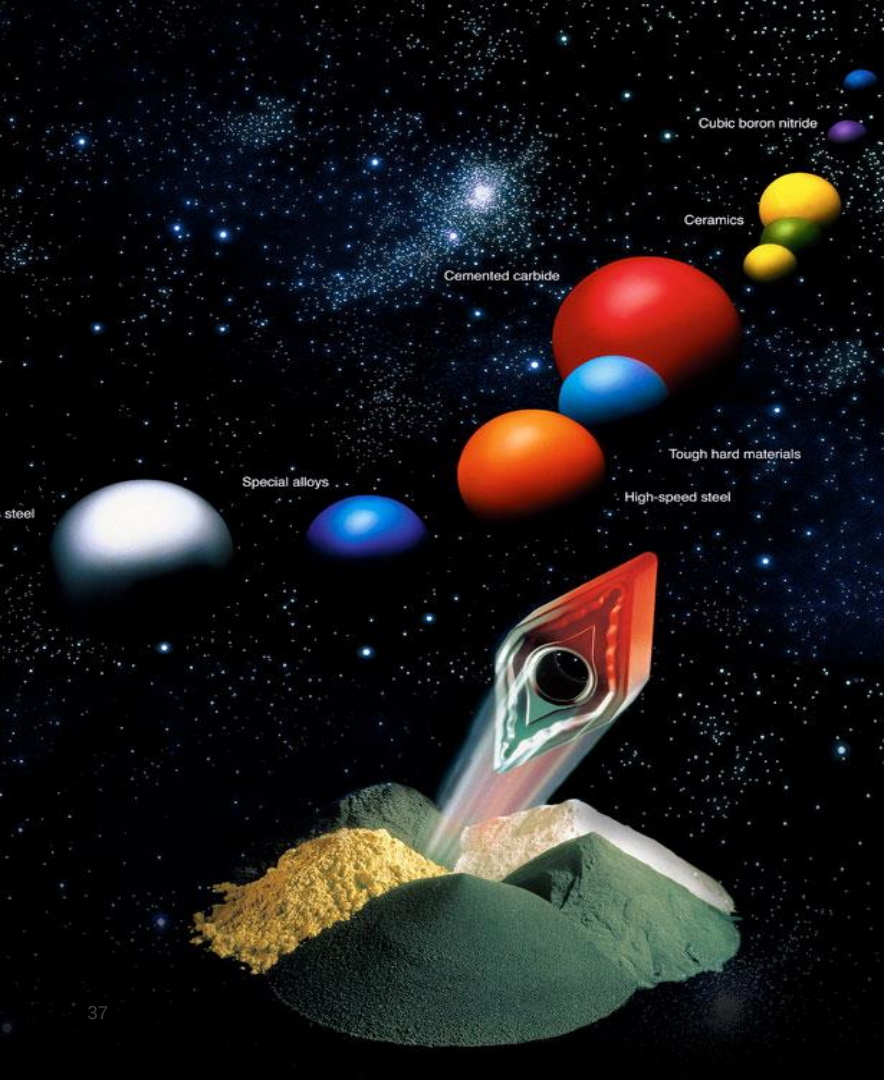
Turning

Milling

Grades

Dominating application areas





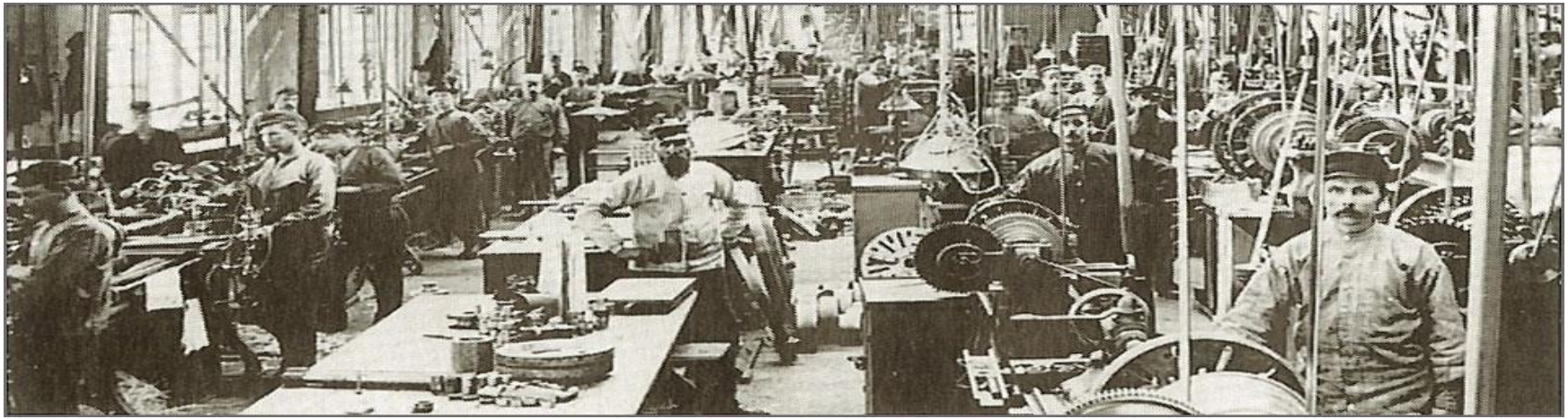
Cutting tool materials

It is the combination of the tool material and the cutting geometry that make up the indexable insert

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

Historical metal cutting

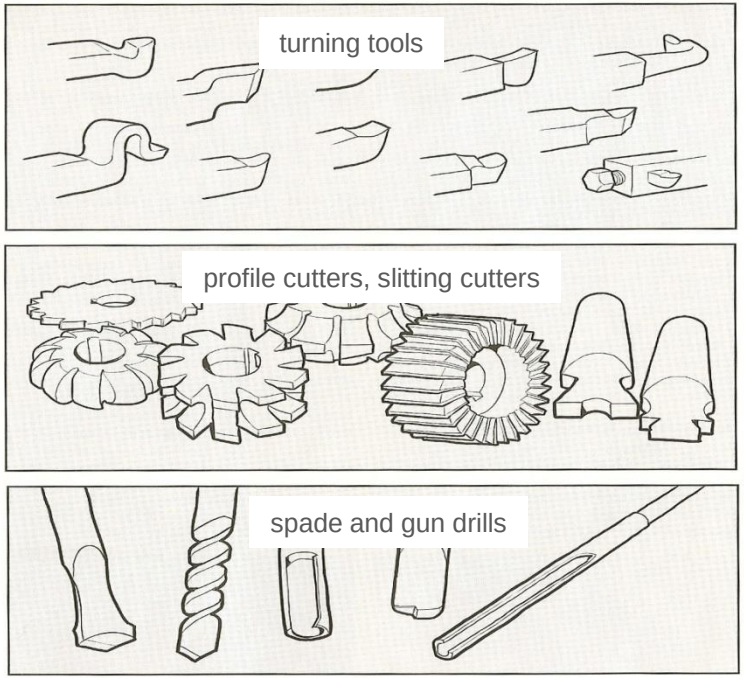
Belt driven machines

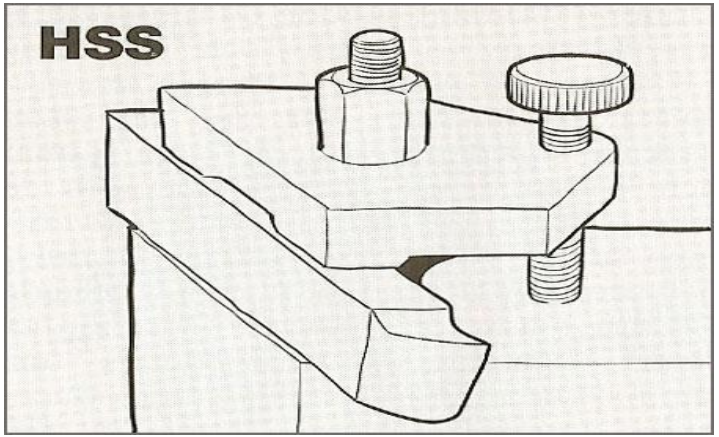


- Workshop at the beginning of the 20th century.
- Note that the machines are all belt driven with a single power source.

Historical metal cutting

Development of the tools



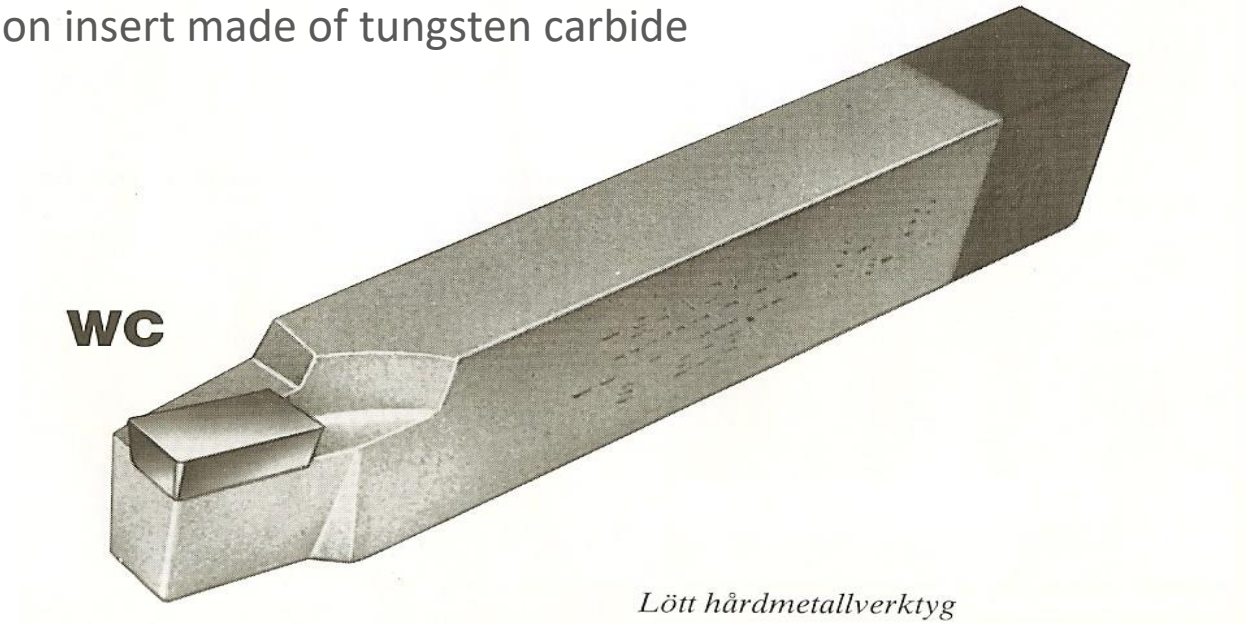


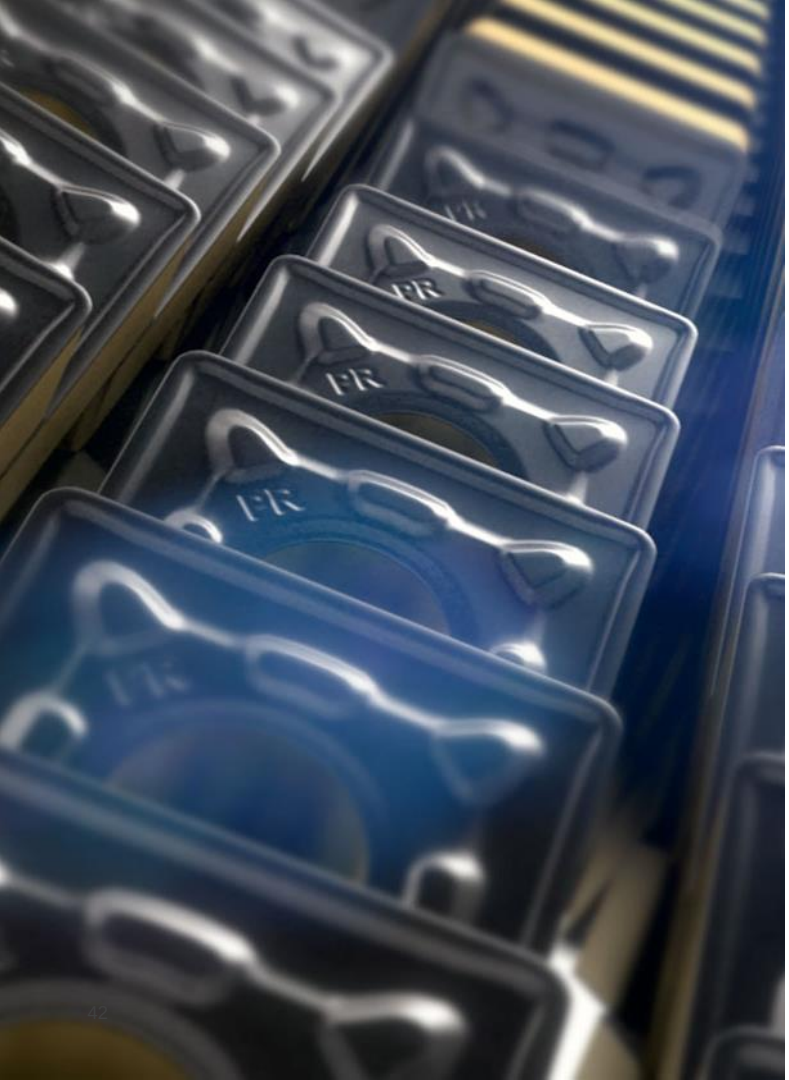
- Typical programmes of HSS tools for turning, milling and drilling.

Historical metal cutting

Brazed carbide tool

Brazed on insert made of tungsten carbide





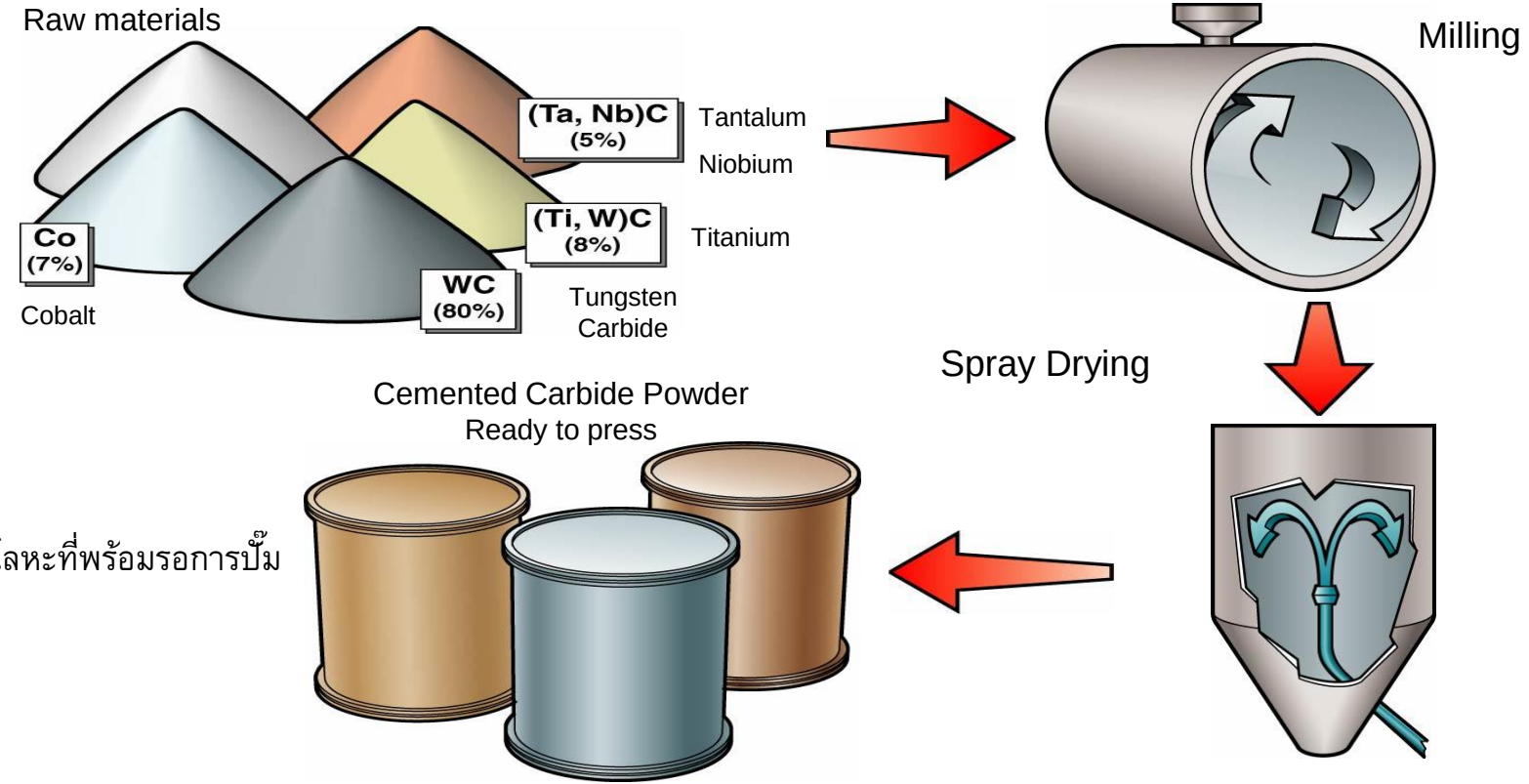
Manufacture of Cemented Carbide

กระบวนการผลิตเม็ดมีดคาร์ไบด์

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

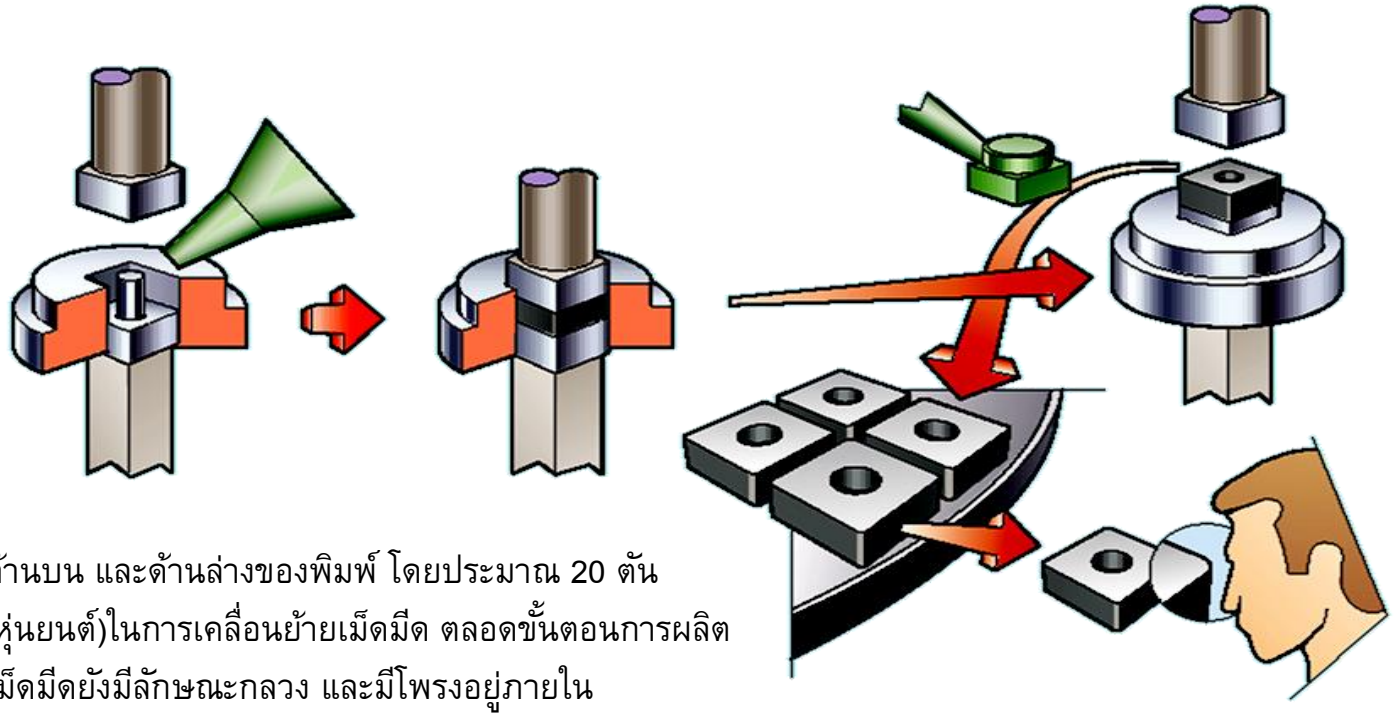
Powder production

การผสมผงโลหะ



Pressing Operation

นำผงโลหะเข้าพิมพ์ แล้วปั๊มขึ้นรูป

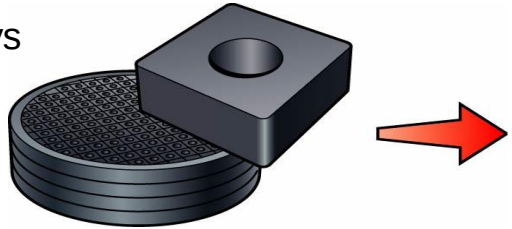


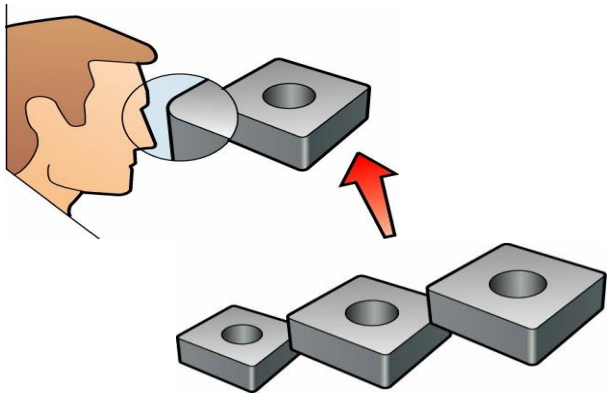
- แรงกดจากด้านบน และด้านล่างของพิมพ์ โดยประมาณ 20 ตัน
- ใช้แขนกล (หุ่นยนต์)ในการเคลื่อนย้ายเม็ดมีด ตลอดขั้นตอนการผลิต
- ที่สภาวะนี้ เม็ดมีดยังมีลักษณะกลวง และมีโพรงอยู่ภายใน

Sintering the pressed inserts

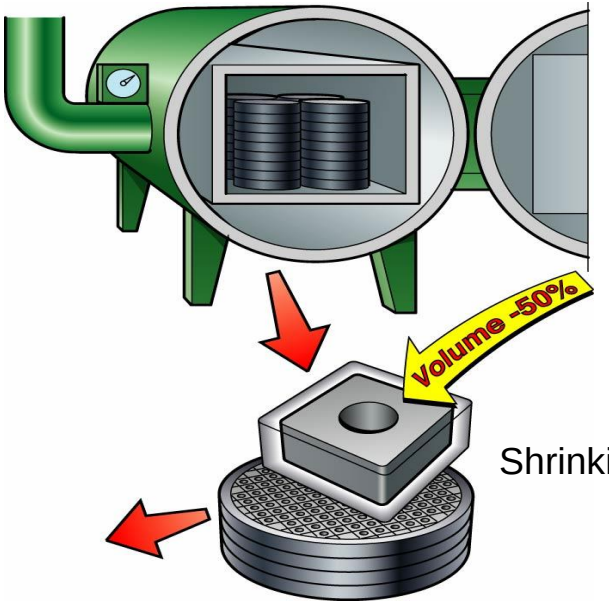
ทำการเผาขึ้นรูป

Insert trays



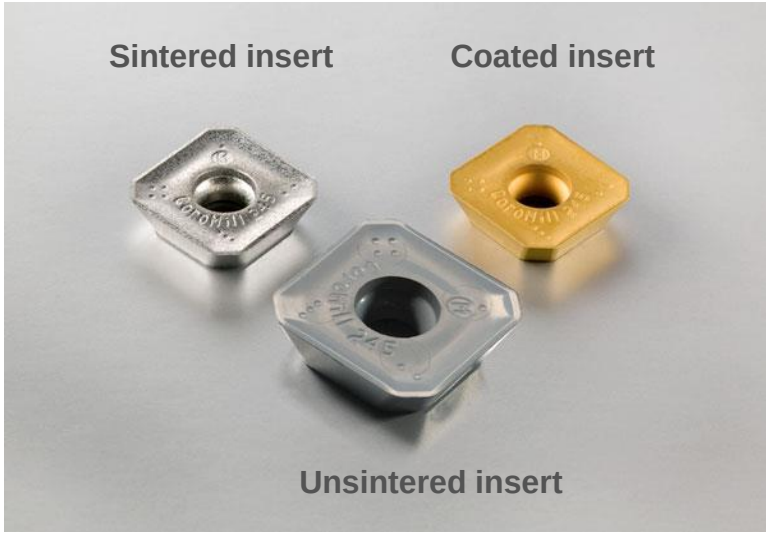


ใช้เวลาประมาณ 8 ชม. ที่อุณหภูมิ 1200 - 2200C°



Shrinking rate

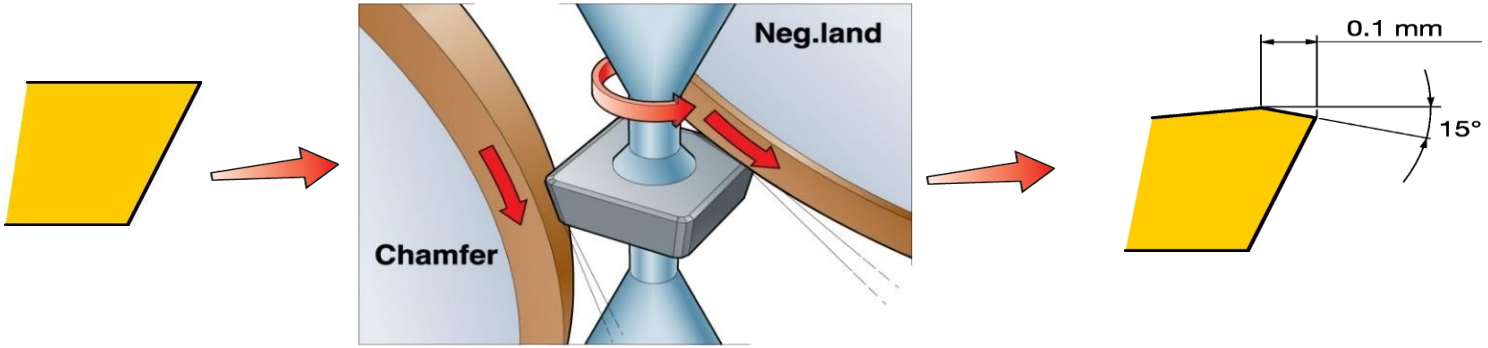
Sintering the pressed inserts



- อุณหภูมิที่เผาประมาณ 1400 C โดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง
- ในขั้นตอนนี้โคบอลต์ และคาร์ไบด์จะละลายประสานกันอย่างสมบูรณ์
- ขนาดของเม็ดมีดจะลดลงประมาณ 18 % ในทุกๆด้านหลังการเผา ซึ่งจะทำให้ปริมาตรโดยรวมของเม็ดมีดลดลง 50 %

Reinforcement of the cutting edge

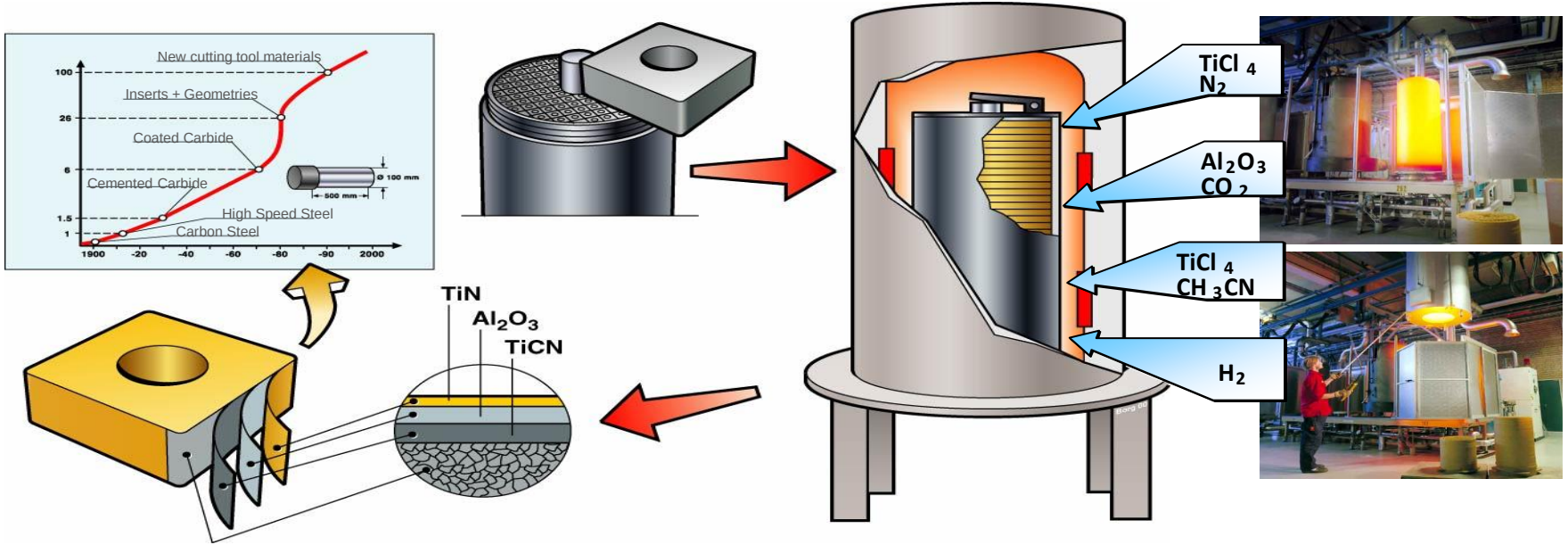
การเพิ่มความแข็งแรงให้คมตัดด้วยการเจียรขอบ



การเจียรขอบ (A negative land) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ขอบคมตัด

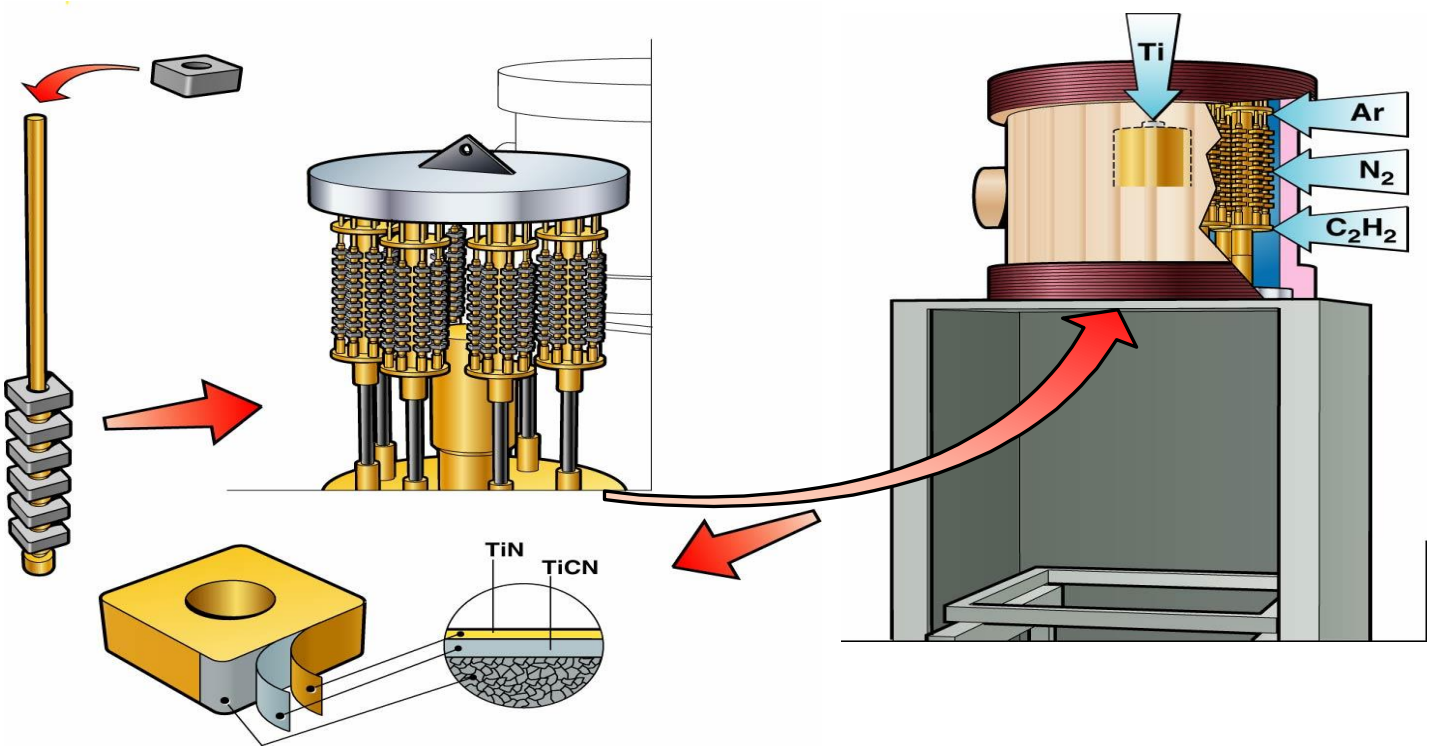
แต่ขณะเดียวกันก็ส่งผลให้แรงตัดเฉือนขณะทำงานมากขึ้นด้วย

Chemical Vapour Deposition
การเคลือบผิวแบบ CVD



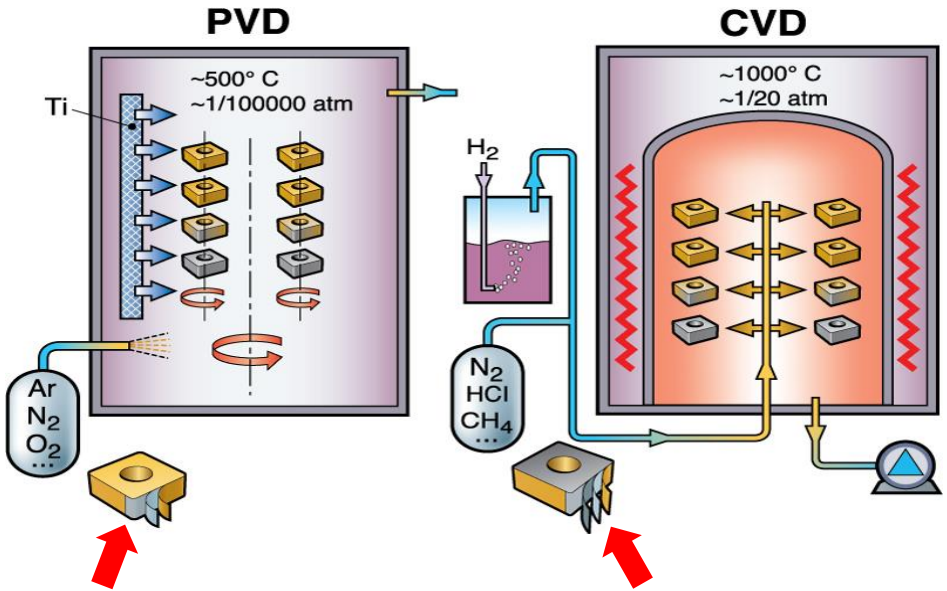
Physical Vapour Deposition

การเคลือบผิวแบบ PVD



PVD vs. CVD coating process

การเปรียบเทียบการเคลือบผิวสองชนิด

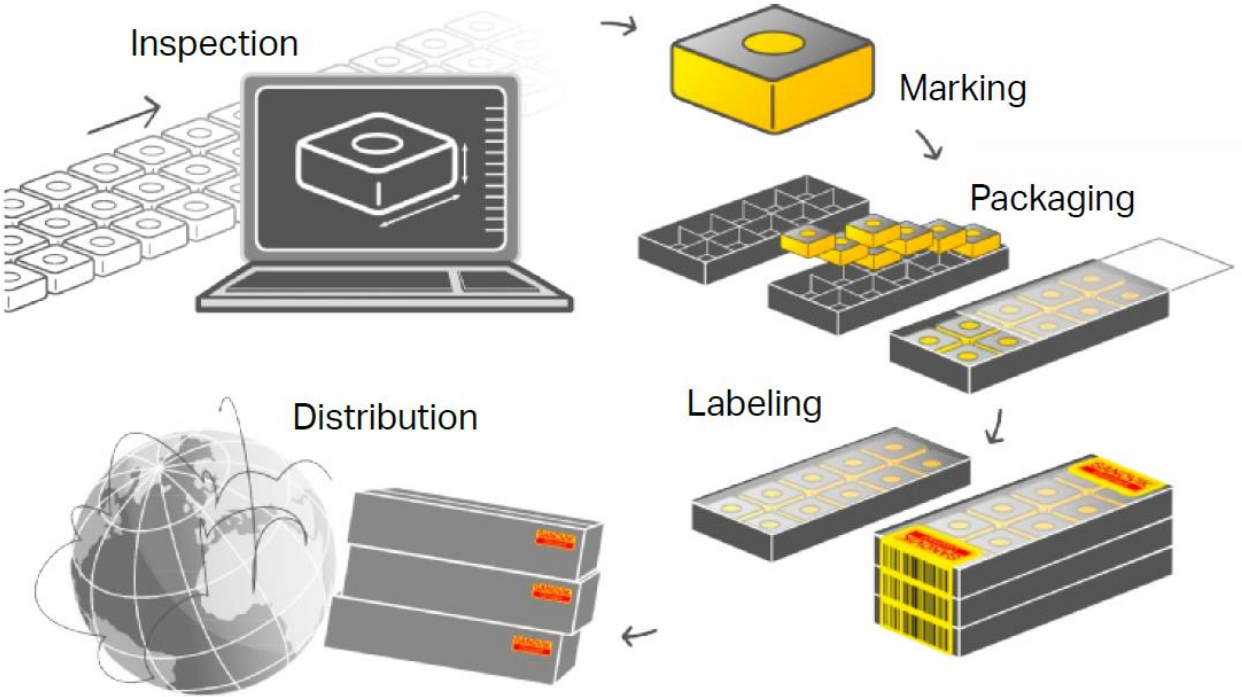


- เคลือบบางกว่า
- ขอบคมตัดคมกว่า
- มีความเหนียวกว่า

- เคลือบหนากว่า
- ทนการสึกหรอได้ดีกว่า
- ทนความร้อนได้ดีกว่า

Vision control, marking and packaging

ตรวจคุณภาพ และทำการบรรจุภัณฑ์



Milling Theory
ทฤษฎีงานกัด

งานกัด ใช้เครื่องมือที่หมุนรอบตัวเอง และ มีหลายคมตัด งานกัดสามารถใช้ขึ้นรูปชิ้นงานที่เป็นแผ่นราบ และ ขึ้นรูปสามมิติได้ด้วย

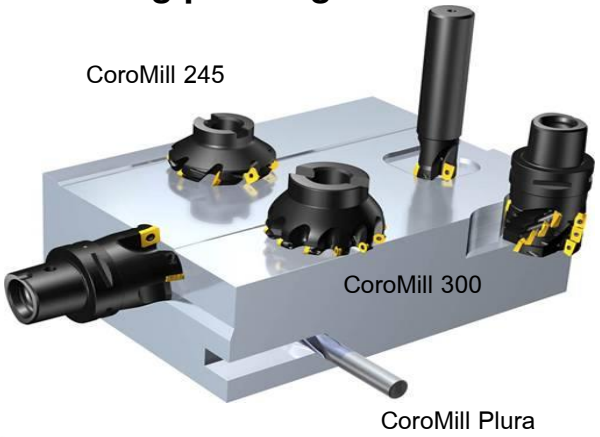
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

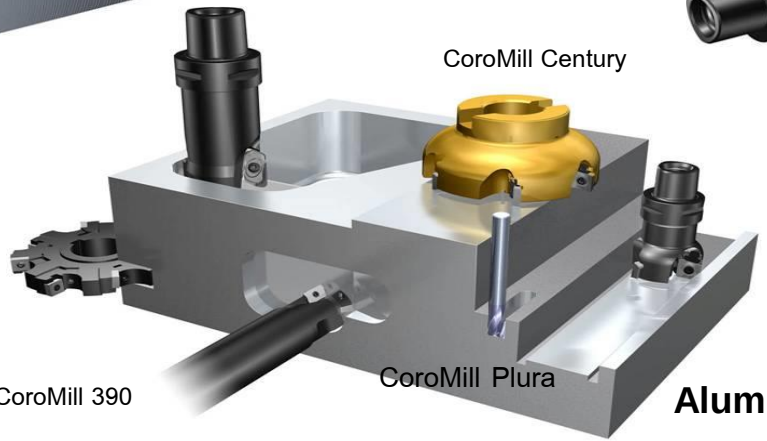
Many Types of Milling Operations

ลักษณะการทำงานแบบต่าง ๆในงานกัด

Roughing in steel

Finishing/profiling in steel

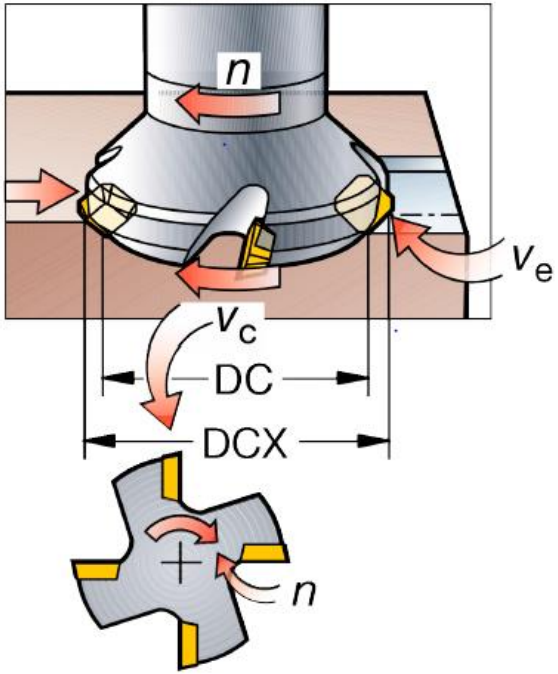




Aluminium

ค่าตัวแปรต่าง ๆในงานกัด

Definitions of terms



Click on picture above

n = ความเร็วรอบ rpm

(revolutions per minute)

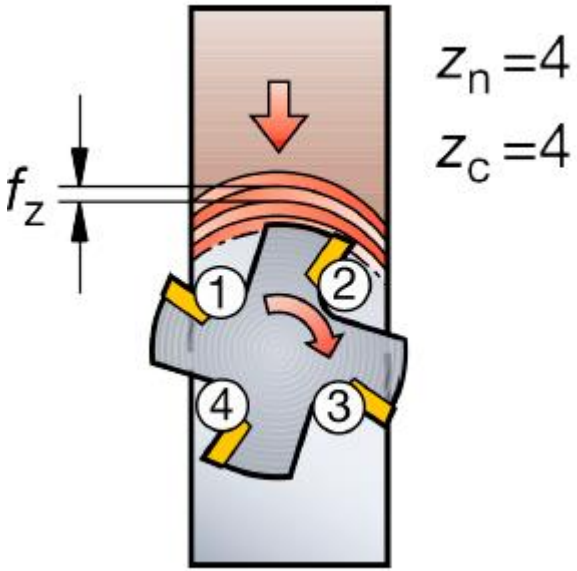
v_c = ความเร็วตัด (m/min)

D_c = ขนาดของเครื่องมือ (mm)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

ค่าตัวแปรต่าง ๆในงานกัด

Definitions of terms



Click on picture above

f_z = อัตราป้อนต่อฟัน (mm/tooth)

v_f = ความเร็วโต๊ะ (mm/min)

z_n = จำนวนฟัน (pcs)

z_c = จำนวนฟันใช้งาน (pcs) (in engagement)

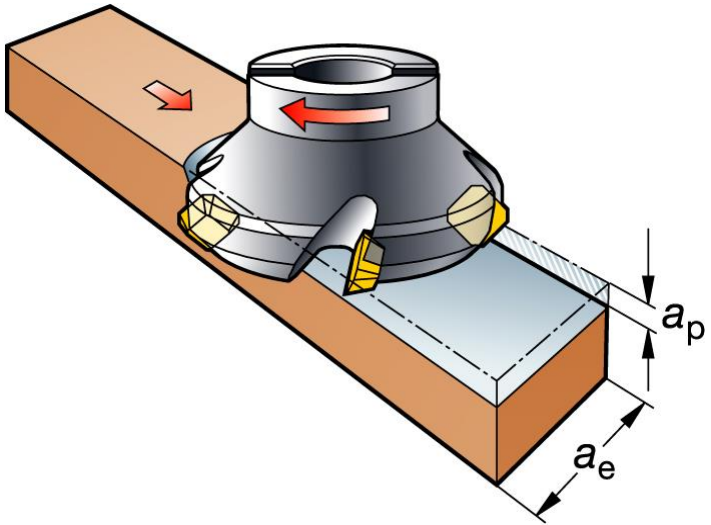
f_n = อัตราป้อนต่อรอบ (mm/rev) (f_z x z_c)

n = ความเร็วรอบ (rpm)

$$v_f = f_z \times z_c \times n$$

ค่าตัวแปรต่าง ๆในงานกัด

Definitions of terms



Click on picture above

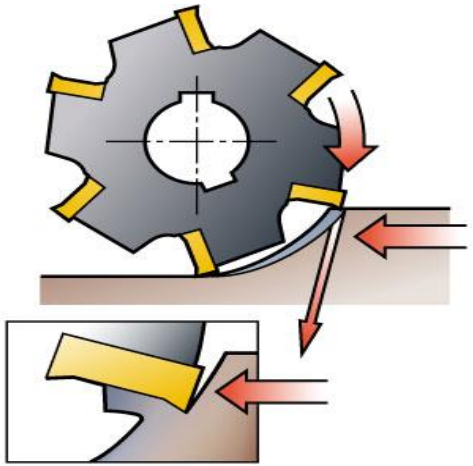
a_e = ระยะกินหน้ากว้าง (mm)

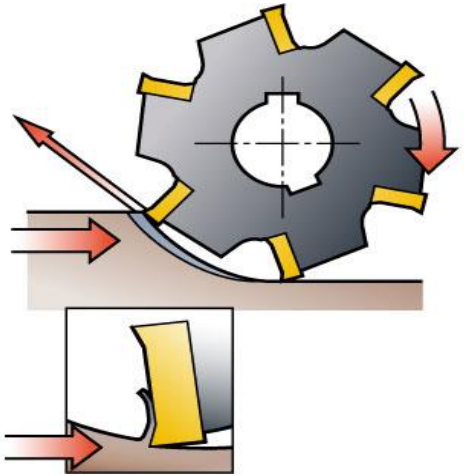
(working engagement)

a_p = ระยะกินลึก (mm)

Down or up milling

การกัดตาม และกัดทวน





Click on pictures above

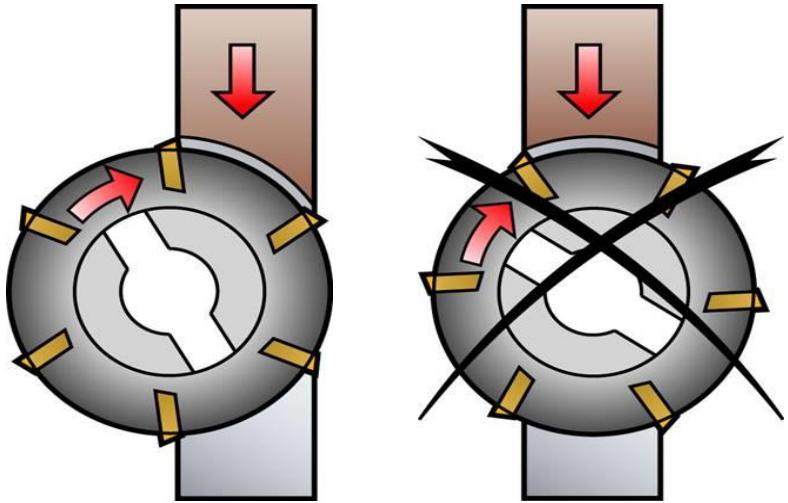
การกัดตาม (down milling) เป็นการกัดที่เริ่มจากความหนาเศษมาก ไปยังความหนาเศษที่น้อย

การกัดทวน (up milling) หรือ conventional milling เป็นการกัดที่เริ่มจากความหนาเศษน้อย ไปยังความหนาเศษที่มาก

Always use climb milling for best cutting condition

Cutter diameter and position

การเลือกขนาดเครื่องมือ และระยะกินหน้ากว้าง



- ขนาดของเครื่องมือควรใหญ่กว่าความกว้างชิ้นงานประมาณ 20%-50%
- 2/3 rule (i.e… 160 mm cutter)
  - 2/3 in cut (100 mm)
  - 1/3 out of cut (50 mm)

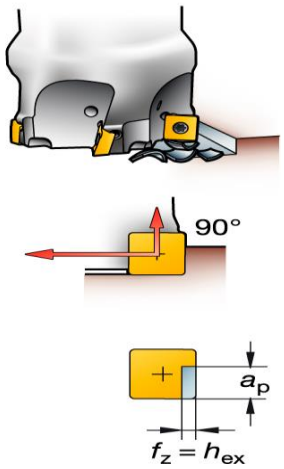
ไม่ควรวางเครื่องมือบนแนวกลางชิ้นงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการสะท้าน (vibrations)

ae = 70% x Dc

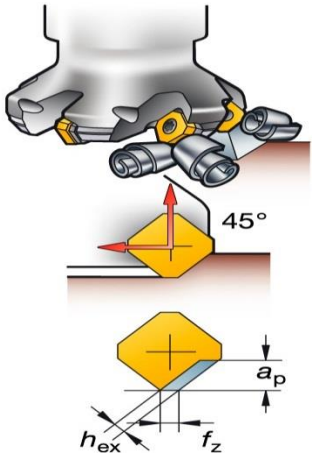
Cutting forces and entering angle

แรงตัดเฉือน และมุมเข้างานของหัวกัด

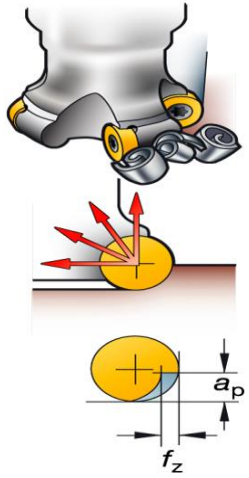
90° entering angle



45° entering angle



Round insert cutters



Effect of entering angle (90º)

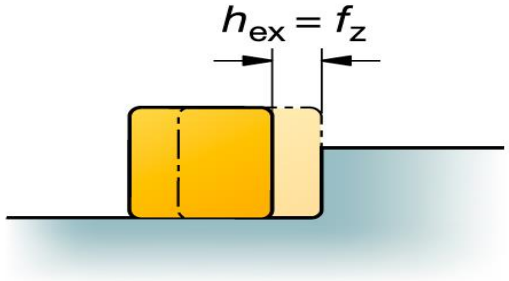
หัวกัดบ่าฉาก

เหมาะในงานปาดชิ้นส่วนที่บาง

เมื่อชิ้นงานมีการจับยึดที่ไม่มั่นคงแข็งแรง

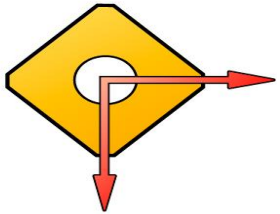
เมื่อต้องการบ่าฉากบนรูปร่างชิ้นงาน

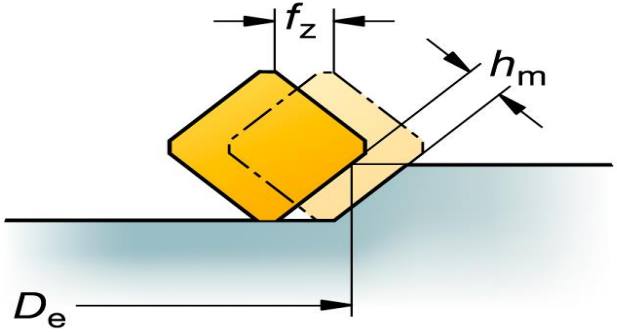
$h_{ex} = f_z$



Effect of entering angle (45º)

หัวกัดสี่สิบห้าองศา





เป็นตัวเลือกแรกในงานปาดหน้าทั่วไป

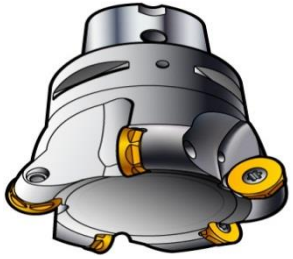
สามารถลดการสะท้าน (vibration) เมื่อต้องจับเครื่องมือยาวๆ

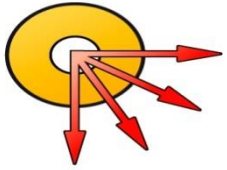
ความหนาเศษน้อย ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการทำงานได้

f_z = 1.41 x h_m (เกิดจากการชดเชยค่าของมุมเข้างาน)

Effect of entering angle (round inserts)

หัวกัดเม็ดกลม





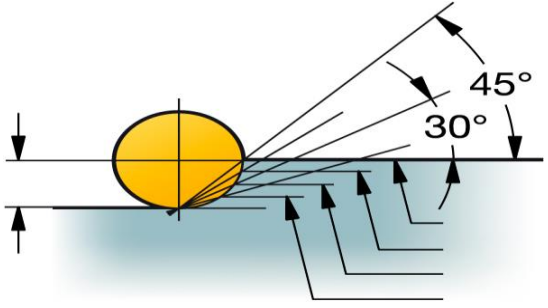
เป็นรูปร่างคมตัดที่มีความแข็งแรงที่สุด

มีจำนวนคมตัดบนเม็ดมีดมาก

สามารถปรับความหนาเศษ และอัตราป้อนได้ตามระยะกินลึกที่จะใช้

h_{ex} แปรเปลี่ยนตามระยะกินลึก a_p

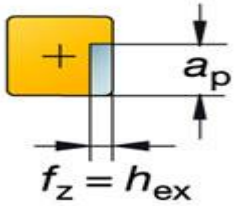
On round inserts the chip load and entering angle vary with the depth of cut



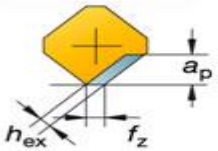
Max a_p

Feed compensation for different entering angles

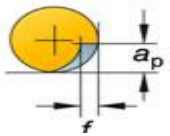
ค่าชดเชยการแปลงความหนาเศษเป็นอัตราป้อน



90 degree = (f_z or h_{ex}) x 1.0



45 degree = (f_z or h_{ex}) x 1.41



Round = depends on a_p

Click on picture above

Making the tool choice in milling

การเลือกเครื่องมือกัด

Low ← First choice → High

Operation stability

Cutter pitch

L

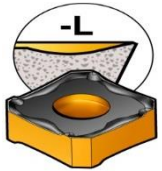
Coarse pitch (-L)

M

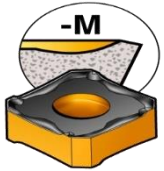
Close pitch (-M)

H

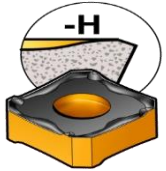
Extra close pitch (-H)



Light (-L)



Medium (-M)



Heavy (-H)

Wear resistance ← Machining conditions/ Grades → Toughness

Good conditions

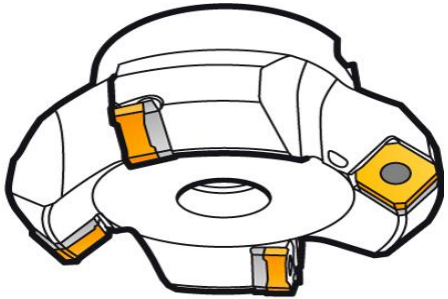
Average conditions

Difficult conditions

Pitch choices

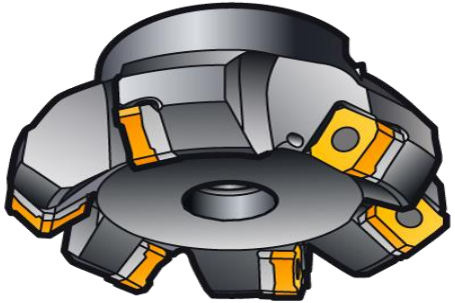
การเลือกจำนวนฟันบนหัวกัด

Low ← **First choice**
Operation stability → **High**



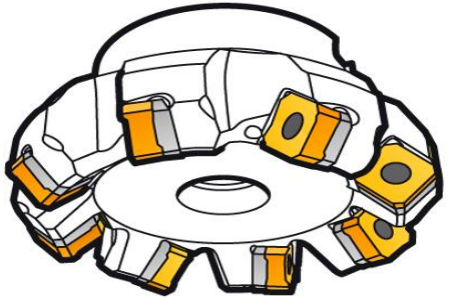
L

Coarse pitch (-L)



M

Close pitch (-M)

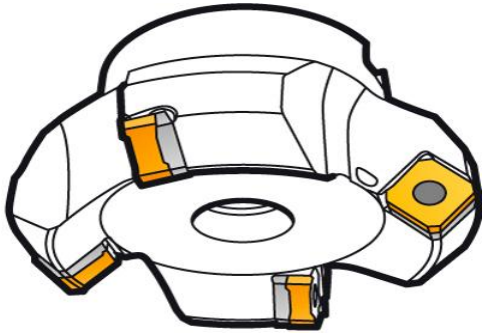


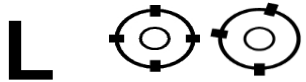
H

Extra close pitch (-H)

Coarse pitch (-L)

จำนวนฟันหยาบ





Coarse pitch (-L)

- เมื่อต้องการลดปริมาณการใช้เม็ดมีด
- เมื่อมีข้อจำกัดทางด้านความมั่นคงแข็งแรง(stability)
- เมื่อต้องจับเครื่องมือยาว (Long overhang)
- เมื่อกำลังของเครื่องจักรน้อย
- เมื่อจะทำงานกัดร่อง (full slotting) ในร่องลึกๆ
- ลักษณะการวางตำแหน่งฟันเป็น **Differential pitch**

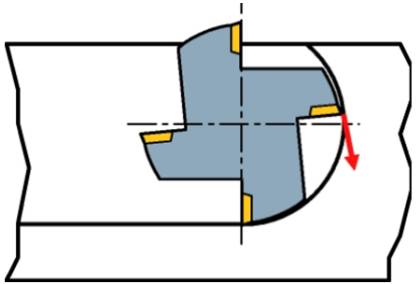
CoroMill values

Choice of pitches

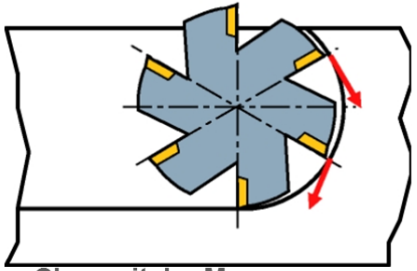
The number of edges selected will effect: -

- productivity
  - $Q = v_f \times a_p \times a_e$
  - $v_f = n \times \mathbf{z_n} \times f_z$
- stability
  - power consumption and torque are increased with increased cutting edges

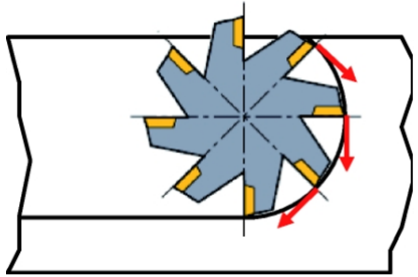
  ↳Reduced forces = reduced vibration
- chip evacuation
  - the tighter the spacing the less room for flute, making chip evacuation more difficult



Coarse pitch - L



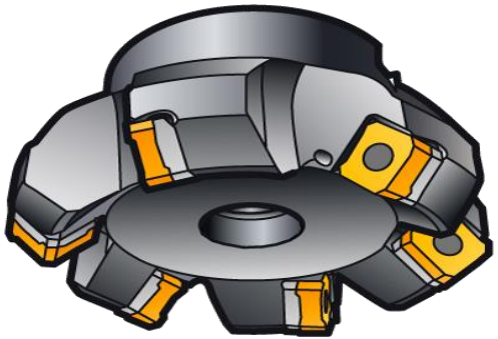
Close pitch - M



Extra close pitch - H

Close pitch (-M)

จำนวนฟันปานกลาง



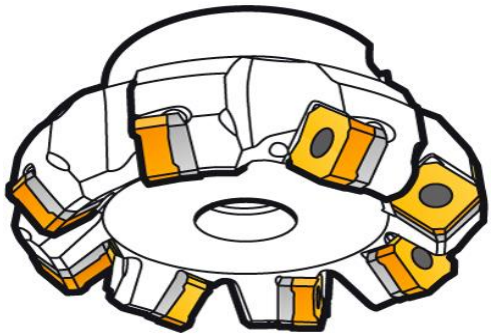
M

Close pitch (-M)

- ใช้ได้ในงานกัดทั่วๆไป
- เหมาะสำหรับโรงงานที่มีการผลิตแบบ mixed production
- เหมาะกับเครื่องจักรที่มีกำลังน้อยไปจนถึงปานกลาง
- ปกติจะเป็นตัวเลือกแรกในการเลือกเครื่องมือ

Extra close pitch (-H)

จำนวนฟันละเอียด



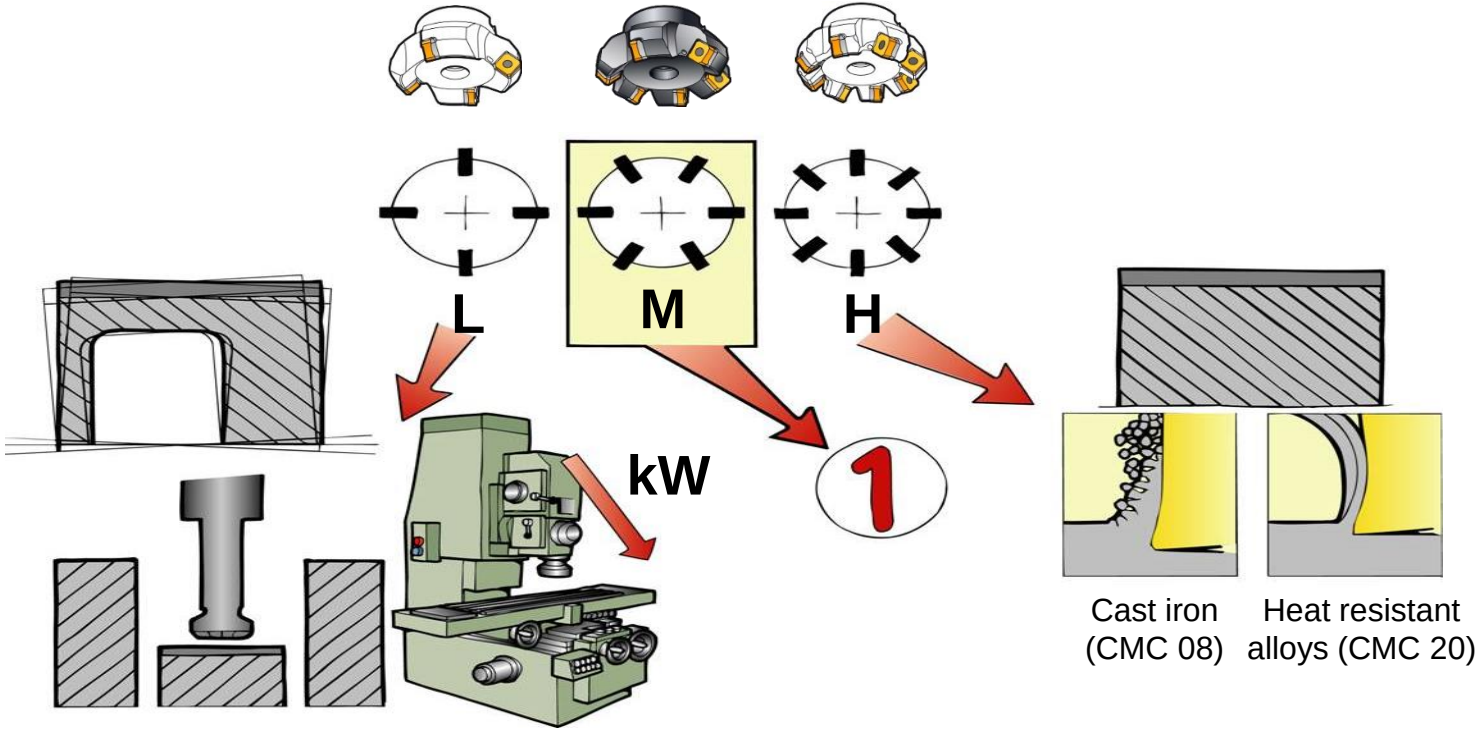
H

Extra close pitch (-H)

- เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วในการผลิต
- เมื่อเครื่องจักร และสภาพการจับยึดมั่นคง แข็งแรง
- ทำงานได้ดีกับวัสดุที่ให้เศษสั้น (Short chipping materials)
- ทำงานได้ดีกับวัสดุประเภทอัลลอยด์ทนความร้อน (HRSA) เนื่องจากความเร็วตัดถูกจำกัด

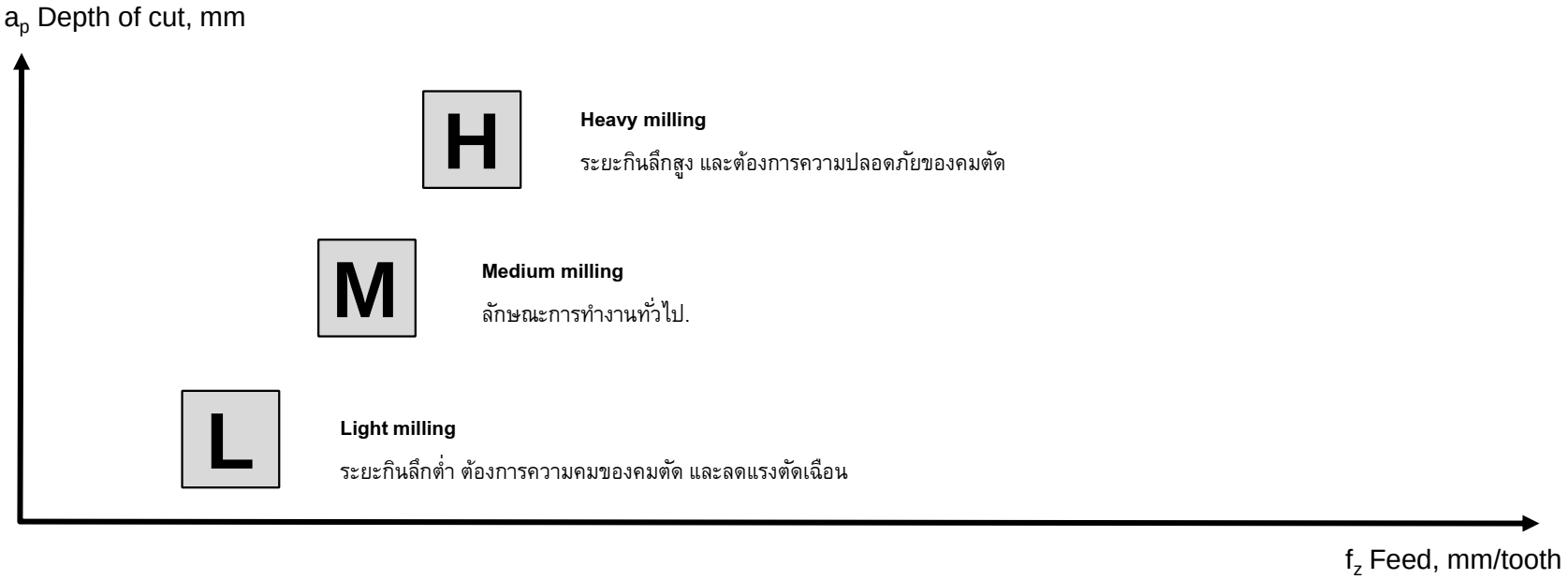
Selecting cutter pitches

สรุปภาพรวมการเลือกจำนวนฟัน



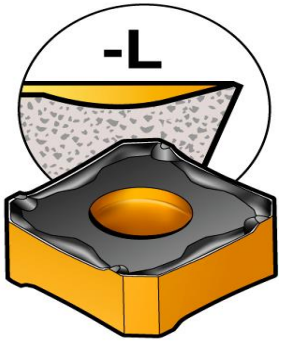
Type of application – Milling

ลักษณะการทำงานในงานกัด



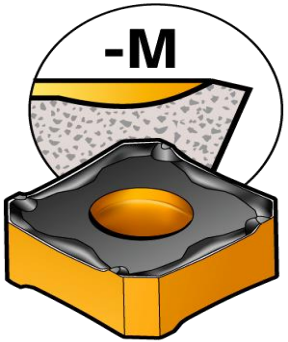
Selecting the insert geometry in milling

ลักษณะของหน้าลายเม็ดมีดในงานกัด



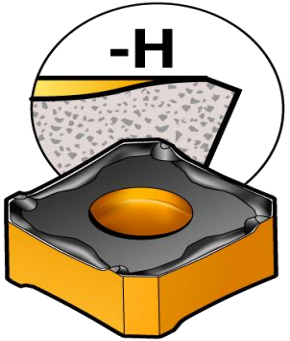
Light (-L)

- มุมคายเป็นบวก
- แรงตัดเฉือนต่ำ
- อัตราป้อนต่ำ



Medium (-M)

- ใช้งานทั่วไป
- อัตราป้อนปานกลาง



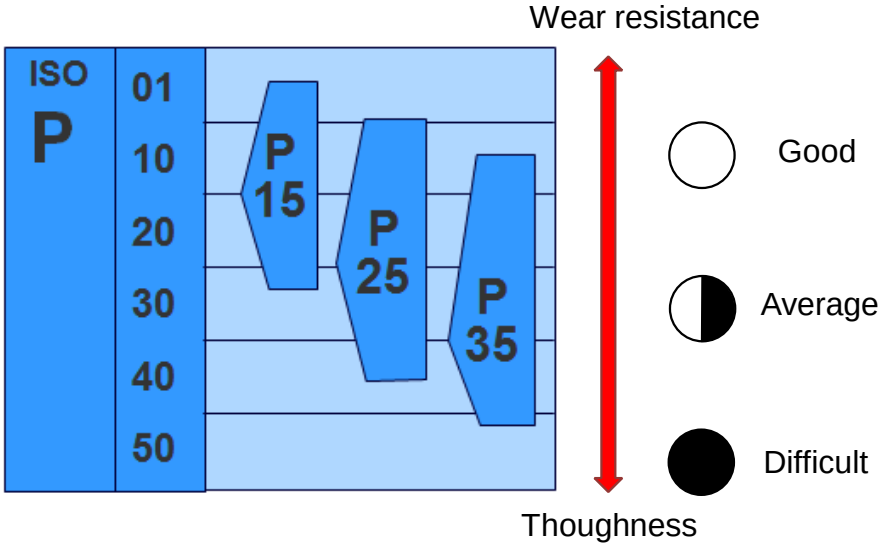
Heavy (-H)

- ขอบคมตัดแข็งแรง
- แรงตัดเฉือนสูง
- อัตราป้อนสูง

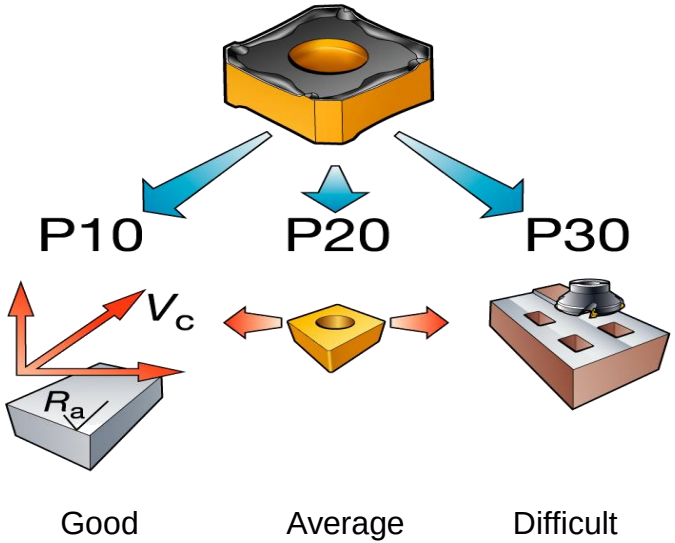
การเรียกชื่อลักษณะงานตามแบบมาตรฐานสากล

Select the geometry and grade according to the application

Build up of a grade chart



Working conditions



Calculating removal rate

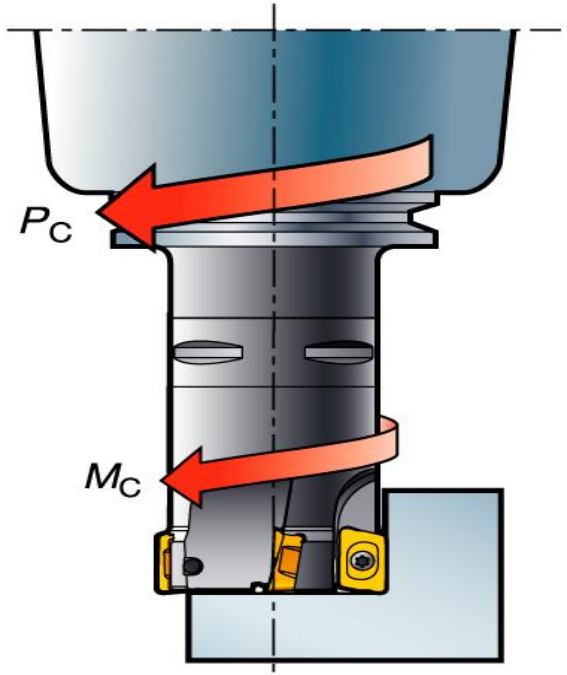
การหาค่าปริมาตรการกำจัดเศษ

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000} \quad \text{cm}^3/\text{min}$$

หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

การคำนวณกำลังที่เครื่องจักรต้องใช้

Calculating of power consumption P_c (kW)



a_p = ระยะกินลึก (mm)

a_e = ระยะกินหน้ากว้าง (mm)
(working engagement)

v_f = ความเร็วโต๊ะ (mm/min)

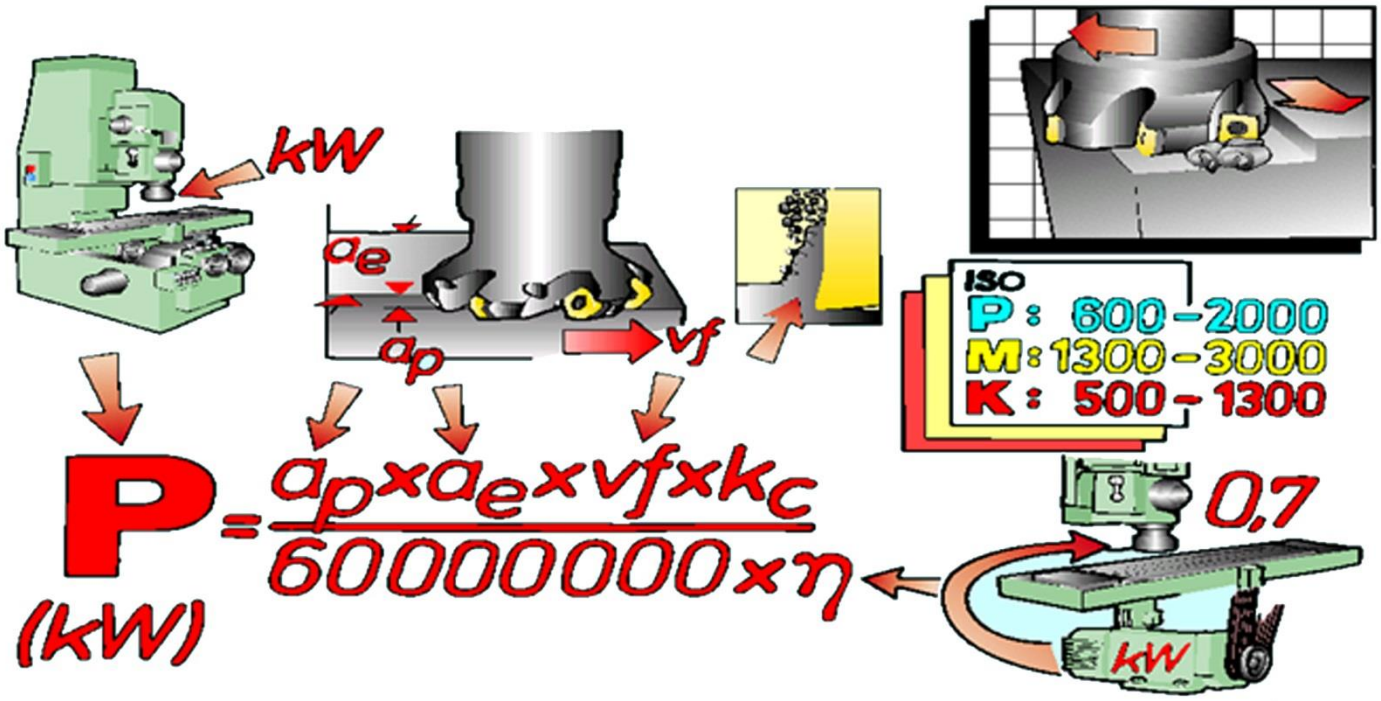
k_c = แรงตัดเฉือนจำเพาะ specific cutting force, (N/mm^2)

P_c = กำลังที่ต้องใช้ (kW)

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Calculating of Power Consumption kW

สูตรการคำนวณกำลังของเครื่องจักรในงานกัด



Specific cutting force. (Kc.)

SANDVIK Coromant

Milling with large engagement, metric values

ISO P MC No.	CMC No.	Material	Specific cutting force k_{c1} N/mm²	Hardness Brinell HB	mc	GC1025	GC1030	GC4220	GC4230	GC4240
						Max chip thickness, h_{ex} mm 0.05–0.1–0.2	0.05–0.1–0.2	0.1– 0.2–0.3	0.1– 0.2–0.3	0.1-0.2-0.3
						Cutting speed v_c, m/min				
		Steel **Unalloyed**								
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1–0.25%	1500	125	0.25	340–310–255	375–340–280	490–405–330	400–330–270	340-280-230
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0.25–0.55%	1600	150	0.25	305–280–230	335–305–250	440–360–295	360–295–245	305-250-205
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55–0.80%	1700	170	0.25	290–260–215	320–290–235	415–340–280	340–280–230	290-235-195
P1.3.Z.AN	01.4		1800	210	0.25	250–230–185	275–250–205	365–300–245	295–245–200	250-205-170
P1.3.Z.HT	01.5		2000	300	0.25	185–170–140	205–185–155	270–220–180	220–180–150	185-155-125
		Low alloyed (alloying elements ≤ 5%)								
P2.1.Z.AN	02.1	Non-hardened	1700	175	0.25	280–255–210	265–240–195	345–285–230	280–230–190	240-195-160
P2.5.Z.HT	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	155–140–115	170–155–130	225–185–150	185–150–125	155-130-105
		High alloyed (alloying elements > 5%)								
P3.0.Z.AN	03.11	Annealed	1950	200	0.25	180–165–135	180–165–135	300–245–200	195–160–130	165-135-110
P3.1.Z.AN	03.13	Hardened tool steel	2150	200	0.25	150–135–110	150–135–110	215–180–145	160–130–110	135-110-90
P3.0.Z.HT	03.21		2900	300	0.25	130–120–100	130–120–100	190–155–125	140–115–95	120-100-80
P3.0.Z.HT	03.22		3100	380	0.25	80–75–60	80–75–60	120–95–80	85–70–60	75-60-50
		Castings								
P1.5.C.UT	06.1	Unalloyed	1400	150	0.25	245–220–180	245–220–180	350–290–235	260–215–175	220-180-150
P2.6.C.UT	06.2	Low alloyed (alloying elements ≤ 5%)	1600	200	0.25	195–175–145	195–175–145	280–230–190	205–170–140	175-145-120
P3.0.C.UT	06.3	High alloyed (alloying elements > 5%)	1950	200	0.25	140–130–105	140–130–105	205–170–140	150–125–100	130-105-85

ISO M MC No.	CMC No.	Material	Specific cutting force k_{c1} N/mm²	Hardness Brinell HB	mc	GC1030	1040	S30T	S40T	GC2030
						Max chip thickness, h_{ex} mm 0.05-0.1-0,2	0.05-0.15-0.25	0.05-0.15-0.25	0.1-0.2-0.3	0.05 – 0.15 – 0.25
						Cutting speed v_c, m/min				
		Stainless steel **Ferritic/martensitic**								
P5.0.Z.AN	05.11	Non-hardened	1800	200	0.21	255 –225 –180	185 – 140 – 105	255 – 190 – 140	250 – 200 – 160	240 –190 –155
P5.0.Z.PH	05.12	PH-hardened	2850	330	0.21	180 –160 –130	130 – 100 – 70	180 – 135 – 100	170 – 135 – 110	170 –135 –110
P5.0.Z.HT	05.13	Hardened	2350	330	0.21	185 –165 –135	135 – 100 – 75	185 – 140 – 105	180 – 145 – 115	175 –140 –115

SANDVIK
Coromant

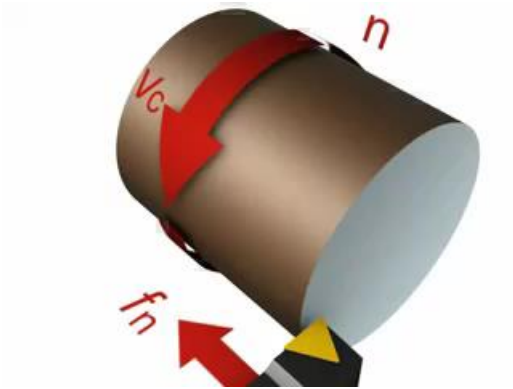
Turning Theory ทฤษฎีงานกลึง

งานกลึง เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานทรงกระบอก หรือทรงกลม โดยใช้เครื่องมือที่มีคมตัดเดี่ยว ในการกลึงชิ้นงาน เครื่องมือจะต้องถูกจับยึดให้นิ่ง และหมุนชิ้นงานด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสม

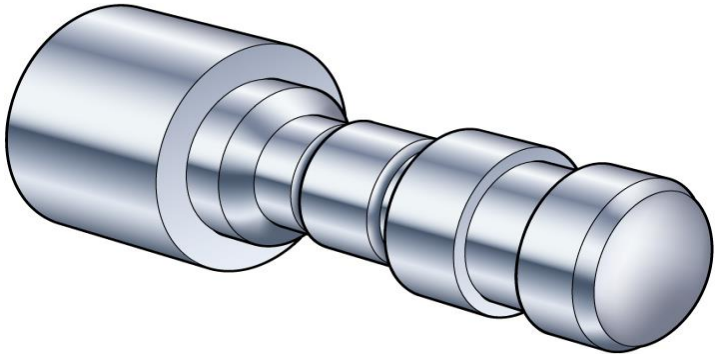
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

General Turning Operations

รูปแบบต่าง ๆของงานกลึง



การกลึงปอกคือการเดินตัดชิ้นงานตามแนวแกน ส่วนการปาดหน้าคือการเดินตัดชิ้นงานตามแนวรัศมี

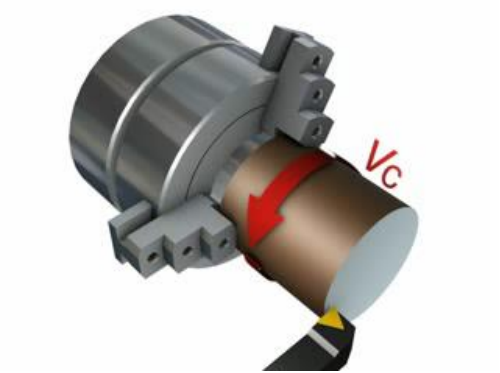


รูปแบบต่าง ๆของงานกลึงที่ใช้โดยทั่วไป

- การกลึงปอก
- การปาดหน้า
- การเดินก็อปปี้ หรือ การเดินโปรไฟล์

Spindle Speed and Cutting Speed

ความเร็วรอบ และ ความเร็วตัด

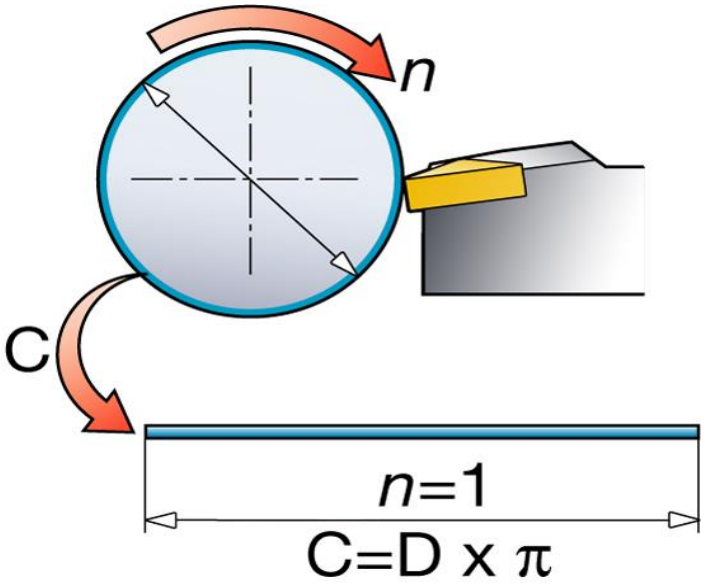


- ความเร็วรอบ (มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที) คือ จำนวนรอบการหมุนของชิ้นงานต่อหนึ่งหน่วยนาที

- ความเร็วตัด (มีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที) คือ ความเร็วในการเดินตัดของเครื่องมือที่กระทำบนผิวชิ้นงานต่อหนึ่งหน่วยนาที

Definitions of cutting speed

การคำนวณความเร็วตัด และความเร็วรอบ



Click on picture above

v_c = ความเร็วตัด (m/min)

D_m = ขนาดของชิ้นงาน (mm)

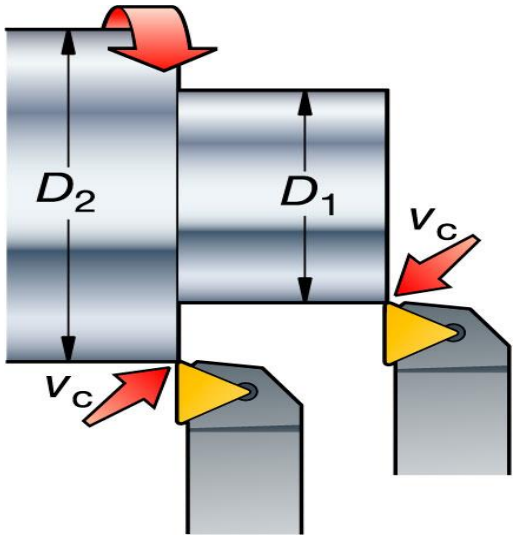
n = ความเร็วรอบ (rpm)

C เส้นรอบวงของชิ้นงาน = $\pi \times D_m$ (mm)

$$v_c = \frac{D_m \times \pi \times n}{1000}$$

Example of cutting speed differations

ตัวอย่างการคำนวณความเร็วตัด



Given:

ใช้ความเร็วรอบ = 2000 rpm

ขนาดชิ้นงาน D1 = Ø 50 mm

ขนาดชิ้นงาน D2 = Ø 80 mm

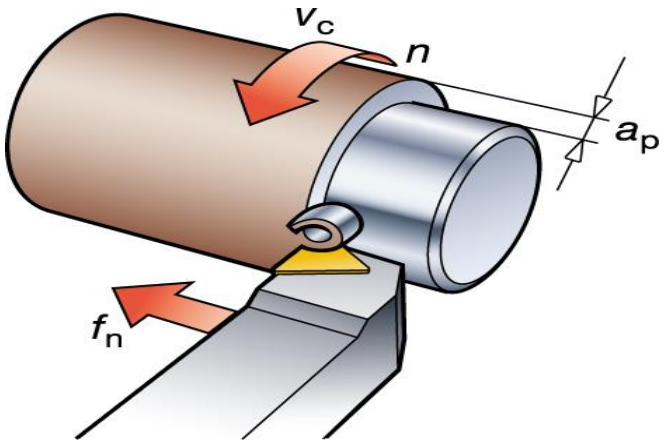
$$v_c = \frac{D_m \times \pi \times n}{1000}$$

D1 $$v_c = \frac{50 \times 3.14 \times 2000}{1000}$$ = 314 m/min

D2 $$v_c = \frac{80 \times 3.14 \times 2000}{1000}$$ = 502 m/min

Calculating Cutting Data

การคำนวณค่าความเร็วรอบ



การหาความเร็วรอบจากข้างกล่องเม็ดมีด ทำได้โดย

เม็ดมีดระบุว่า v_c = 400 m/min

ชิ้นงานมีขนาด D_c = 100 mm

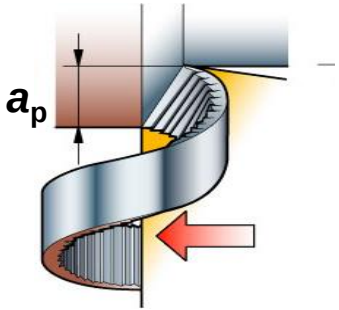
$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

$$n = \frac{400 \times 1000}{3.14 \times 100}$$

ต้องใช้ความเร็วรอบ **= 1275 rev/min**

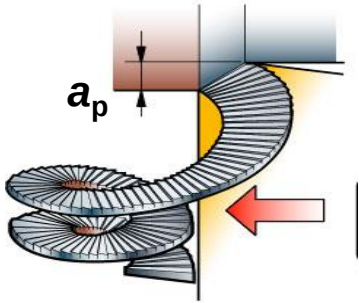
Chip formation varies with different parameters

การฟอร์มตัวของเศษขึ้นกับปัจจัยอะไรบ้าง



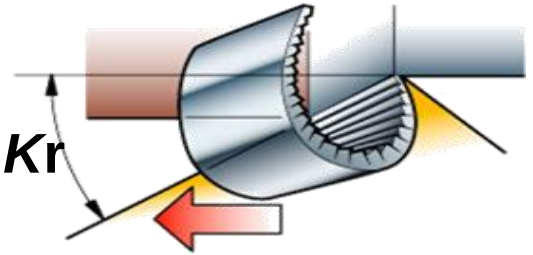
ระยะกินลึกสูง

Larger a_p



ระยะกินลึกต่ำ

Smaller a_p



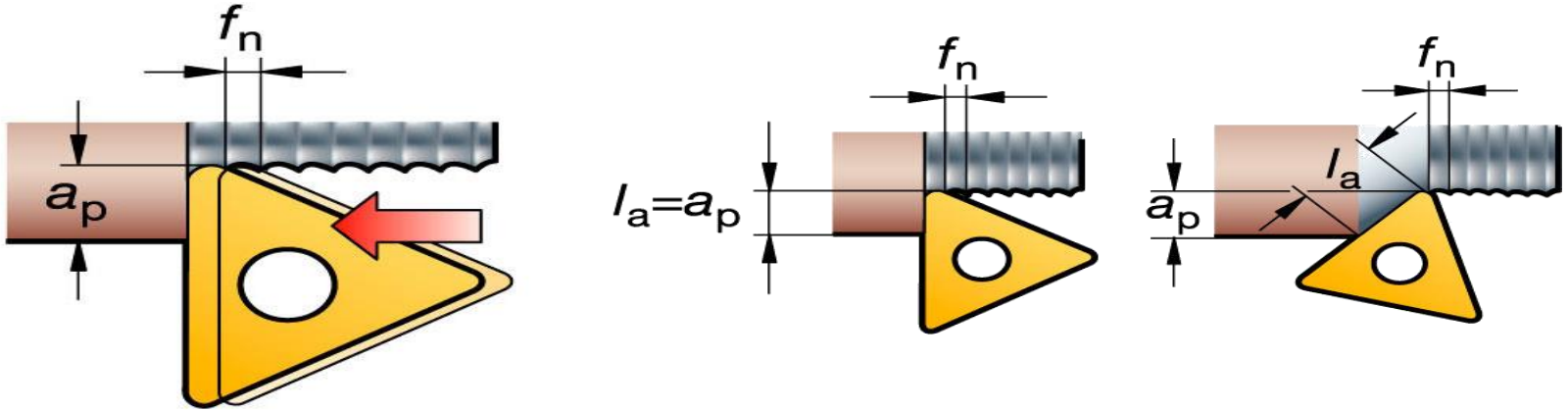
มุมเข้างาน

Entering angle

การฟอร์มตัวของเศษขึ้นอยู่กับหลาย ๆปัจจัยเช่น ระยะกินลึก อัตราป้อน ชนิดวัสดุ และหน้าลายเม็ดมีด

Feed rate and the effective cutting edge length

นิยามของอัตราป้อน และ ความยาวคมตัดสัมพัทธ์



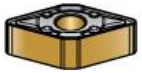
- อัตราป้อน (feed rate f_n) คือ ระยะที่เครื่องมือเดินกินชิ้นงานตามแนวแกน หรือ รัศมี ต่อหนึ่งรอบการหมุนของชิ้นงาน
- ความยาวคมตัดสัมพัทธ์ (Effective cutting edge length l_a) จะสัมพันธ์กับระยะกินลึก และองศามุมเข้างาน

Insert shape selection, entering angle and chip thickness

รูปร่างเม็ดมีด มุมเข้างาน และความหนาเศษ

CNMG

K_r 95°, 75°



DNMG

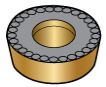
K_r 107° 30´
93°, 62° 30´

WNMG

K_r 95°

SNMG

K_r 45°, 75°



RCMT

K_r variable

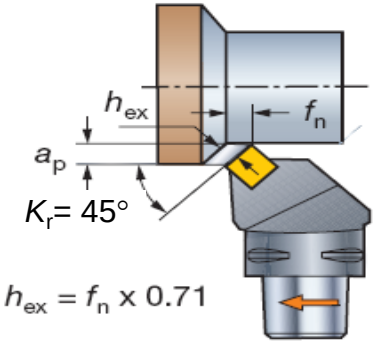
แปรตามระยะกินลึก

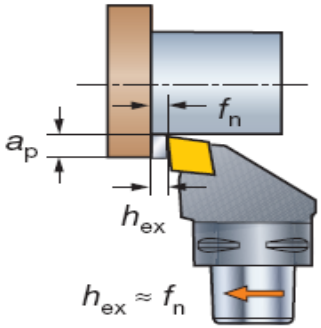
TNMG

K_r 93°, 60°

VNMG

K_r 93°, 60°30´





Entering angle K_r มุมเข้างาน

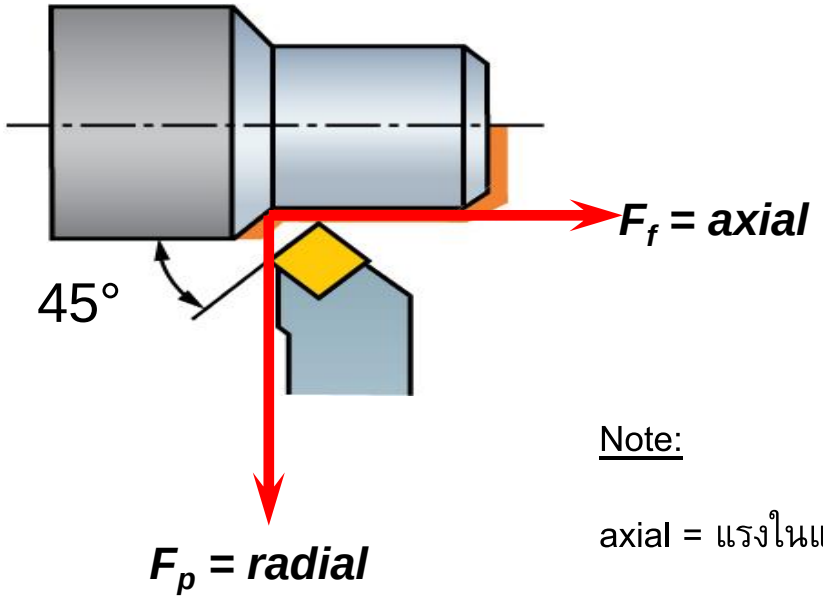
- ถูกกำหนดโดยด้ามมีด และรูปร่างของเม็ดมีดบนด้ามนั้นๆ

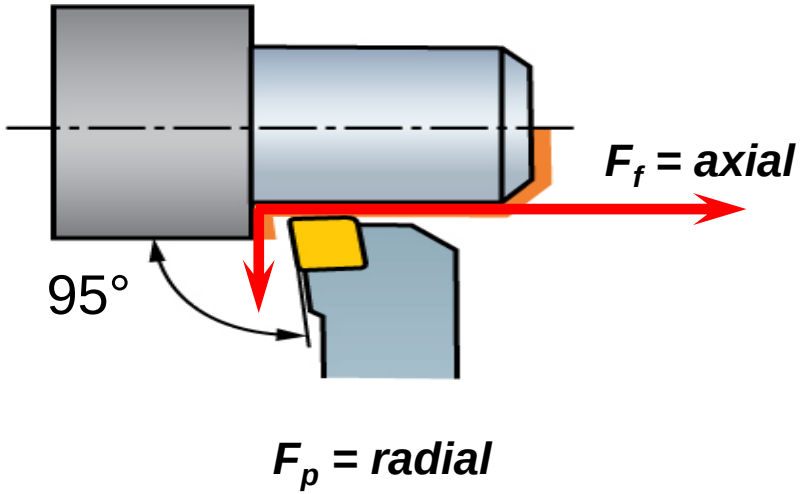
Chip thickness h_{ex} ความหนาเศษ

- จะแปรผันตรงตามอัตราป้อนที่ลดลง และ มุมเข้างานที่ลดลง

Axial and radial cutting forces

ผลกระทบของมุมเข้างานกับทิศทางของแรงตัดเฉือน





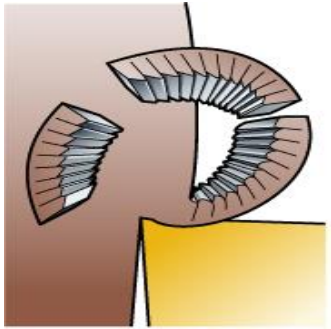
Note:

axial = แรงในแนวแกน

radial = แรงในแนวรัศมี

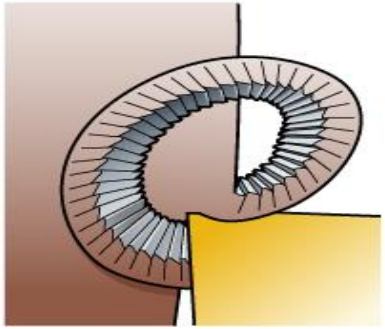
Different patterns of chipbreaking

รูปแบบต่าง ๆกันของการหักเศษ



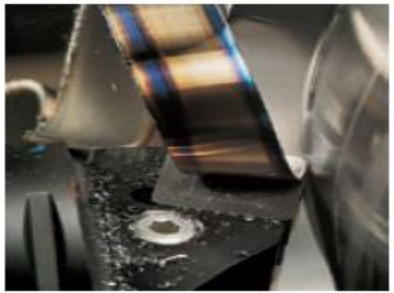
A Self-breaking

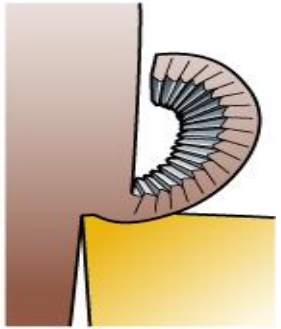
หักด้วยตัวเอง



B Against the tool

หักด้วยการกระแทกกับเครื่องมือ



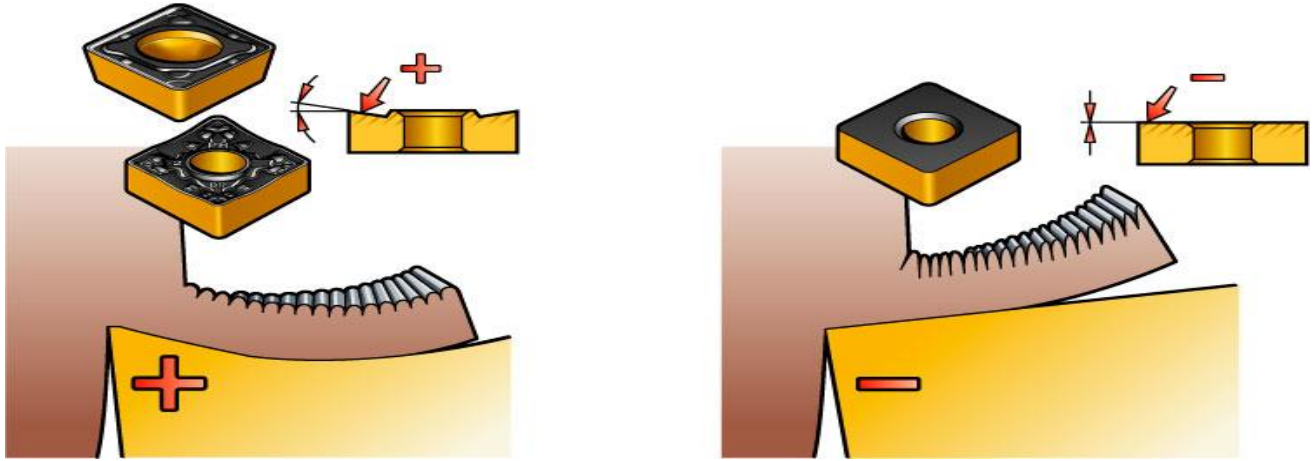


C Against the workpiece

หักด้วยการกระแทกกับชิ้นงาน

Positive and negative cutting action

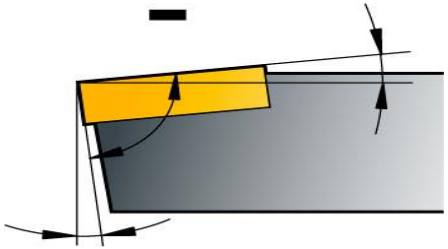
มุมคายเศษของเม็ดมีด



Note: **มุมคาย** (rake angle) คือมุมที่กระทำระหว่างผิวด้านบนของเม็ดมีด กับแนวแกนราบของตัวชิ้นงาน

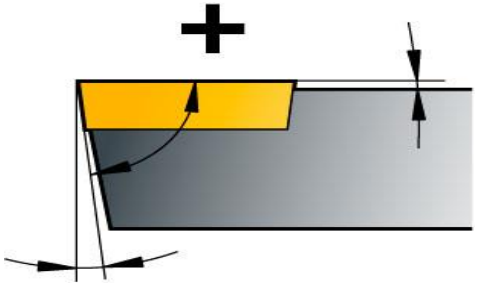
Negative vs Positive Inserts

เปรียบเทียบมุมคายเศษที่เป็นบวกและลบ



Negative Style

- มีหน้าลายสองด้าน
- ขอบคมตัดแข็งแรง
- มุมหลบเท่ากับศูนย์องศา
- เหมาะกับงานกลึงนอก
- ใช้ได้ทั้งงานกินหยาบจนถึงละเอียด



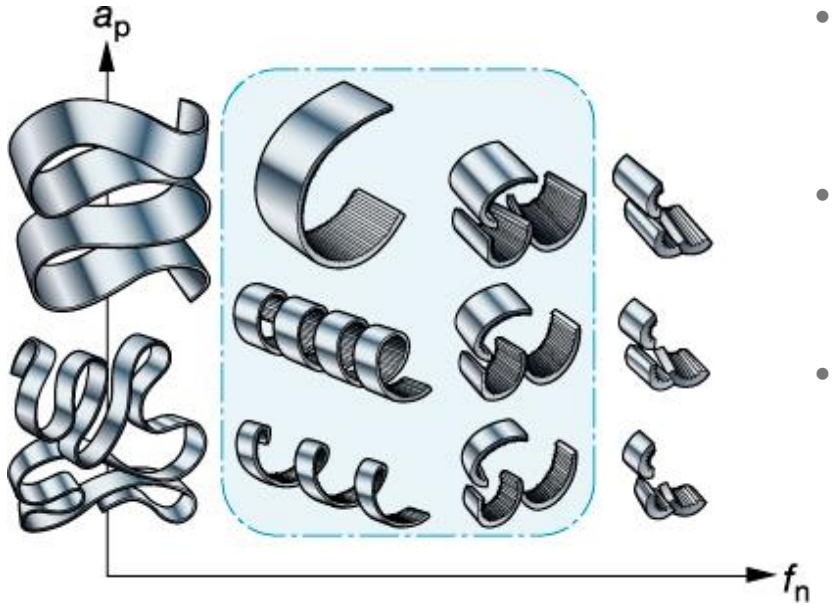
Positive Style

- มีหน้าลายด้านเดียว
- ก่อให้เกิดแรงตัดเฉือนต่ำ
- มีมุมหลบด้านหน้าของเม็ดมีด
- เหมาะกับงานคว้านใน
- เหมาะกับชิ้นงานขนาดเล็กๆ และยาวๆ

Note: **มุมหลบ** (clearance angle) คือมุมที่กระทำระหว่างผิวหน้าของเม็ดมีด กับแนวแกนดิ่งของตัวชิ้นงาน

The working area of an insert geometry

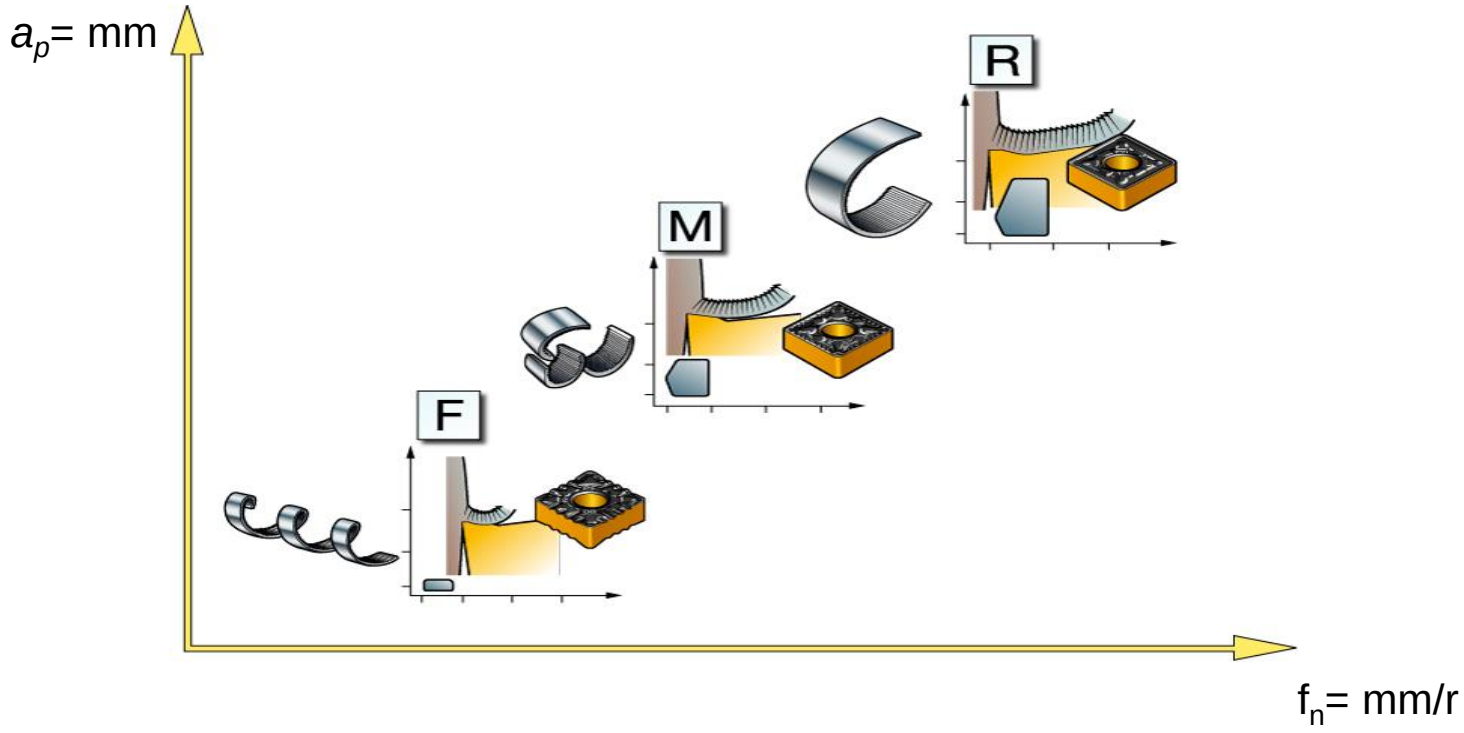
ช่วงการใช้งานของหน้าลายเม็ดมีด



- ระยะกินลึก (a_p) และอัตราป้อน (f_n) ที่เหมาะสมควรใช้ให้การหักเศษที่สั้น และเหมาะสม
- เศษที่สั้นเกินไป และถูกอัดกระแทกจะส่งผลให้เม็ดมีดมีโอกาสบิ่นแตกได้ง่ายขึ้น
- เศษที่ยาวเกินไป จะส่งผลให้เกิดการรบกวนกระบวนการทำงาน และอาจทำให้เกิดรอยขูดขีดลงบนผิวชิ้นงานได้

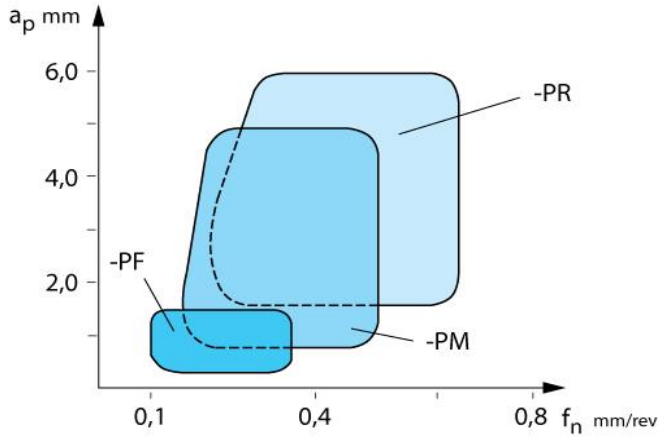
Finishing, Medium and Roughing

ลักษณะของเศษที่ต่างกันตามการประยุกต์ใช้งาน



Recommended feed rates and cutting depths

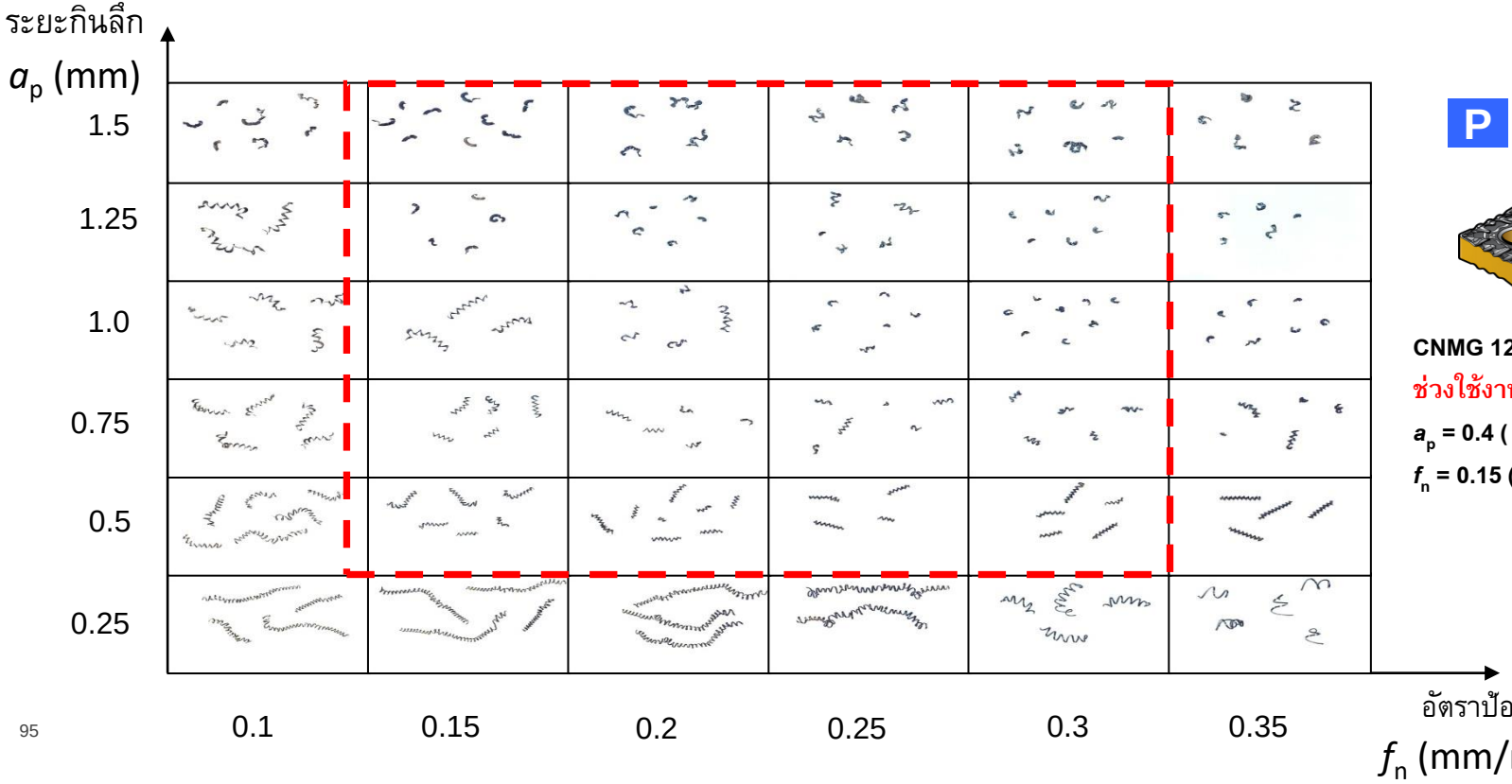
การดูช่วงการใช้งานของแต่ละหน้าลายเม็ดมีด



- เม็ดมีดแต่ละหน้าลายจะมีช่วงใช้งานของระยะกินลึก และอัตราป้อนที่เหมาะสมช่วงหนึ่งเท่านั้น
- หน้าลายเก็บละเอียด จะใช้หน้าลายบริเวณจมูกเป็นตัวหลักในการควบคุมเศษ
- หน้าลายหยาบ จะใช้หน้าลายบริเวณขอบคมตัดเป็นตัวหลักในการควบคุมเศษ

Finishing of steel, CMC 02.1

การหักเศษของหน้าลายเก็บละเอียด



P F

CNMG 120404-PF

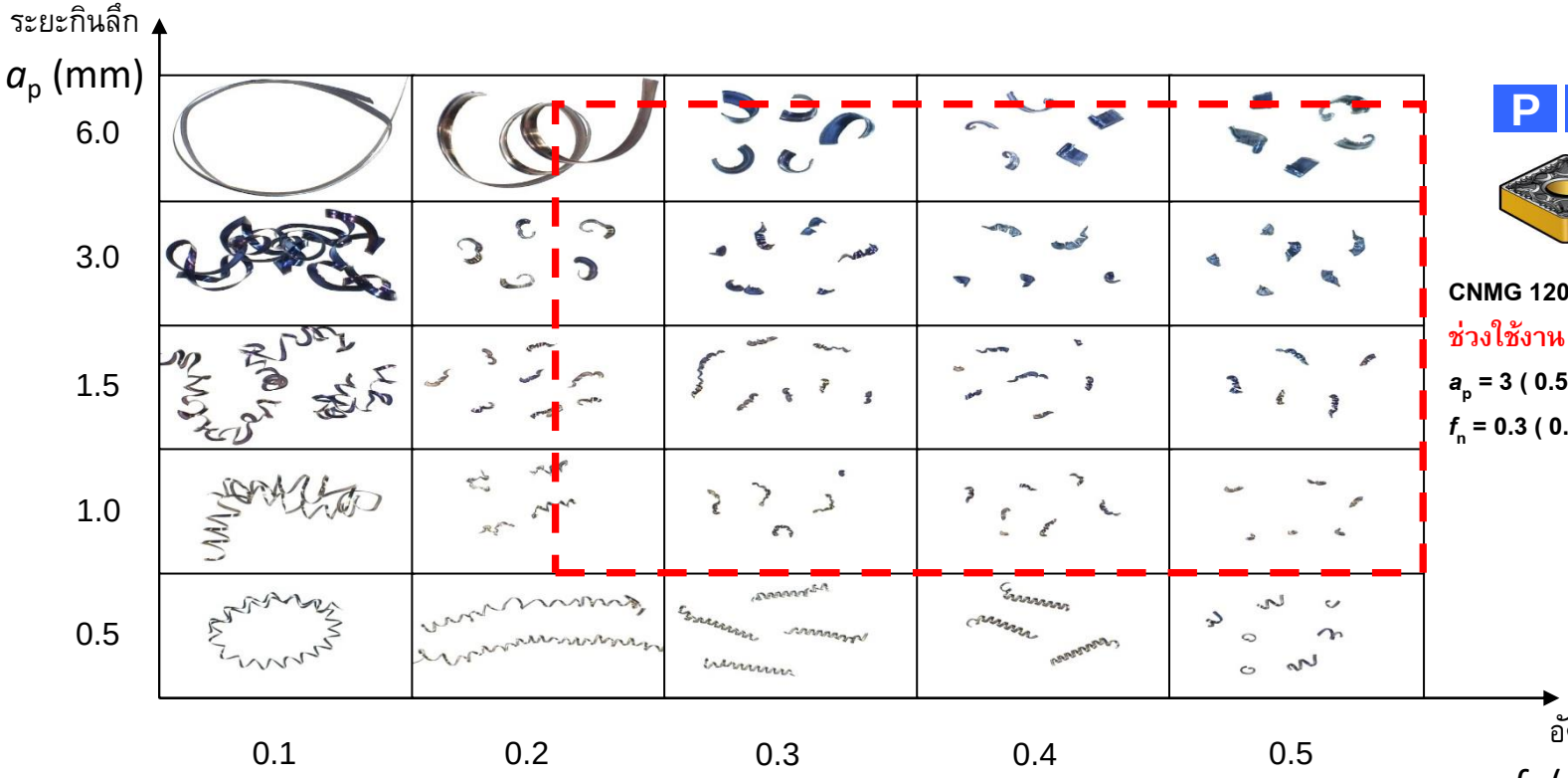
ช่วงใช้งาน :

a_p = 0.4 (0.25 - 1.5) mm

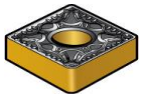
f_n = 0.15 (0.07 - 0.3) mm/rev

Medium machining of steel, CMC 02.1

การหักเศษของหน้าลายปานกลาง



P M



CNMG 120408-PM

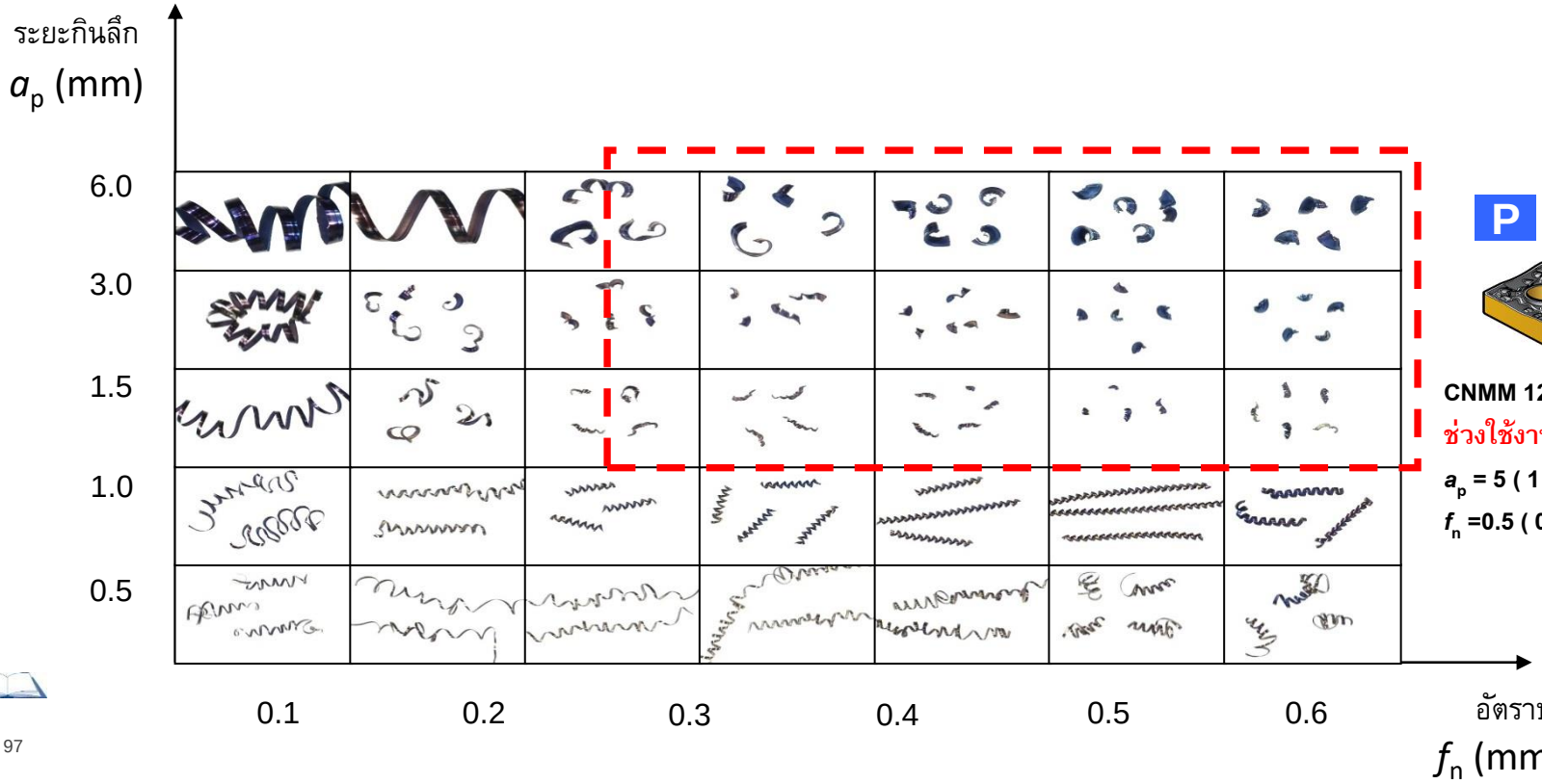
ช่วงใช้งาน :

a_p = 3 (0.5 - 5.5) mm

f_n = 0.3 (0.15 - 0.5) mm/rev

Roughing of steel, CMC 02.1

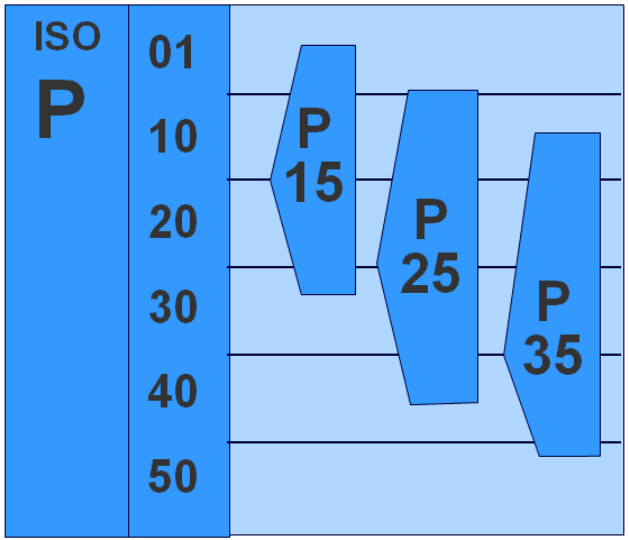
การหักเศษของหน้าลายกินหยาบ



Select the geometry and grade according to the application

วิธีการเลือกหน้าลายและเกรดให้เหมาะกับลักษณะงาน

แผนภูมิเกรด



Wear resistance

ความต้านทานการสึกหรอ

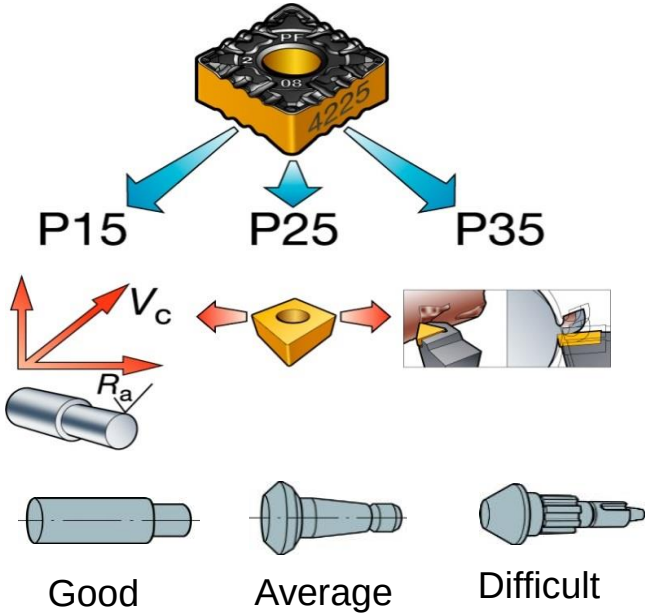
Good

Average

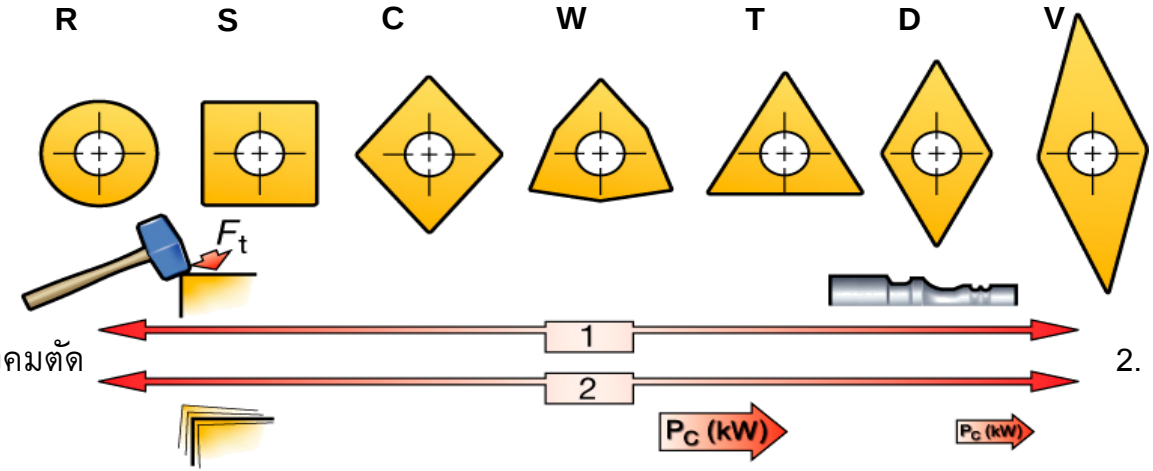
Difficult

Toughness ความเหนียว

Working conditions



The influence of large and small insert shape
รูปร่างของเม็ดมีด



1. ความแข็งแรงของคมตัด

2. แนวโน้มในการสั่นสะท้าน

รูปร่างขนาดใหญ่

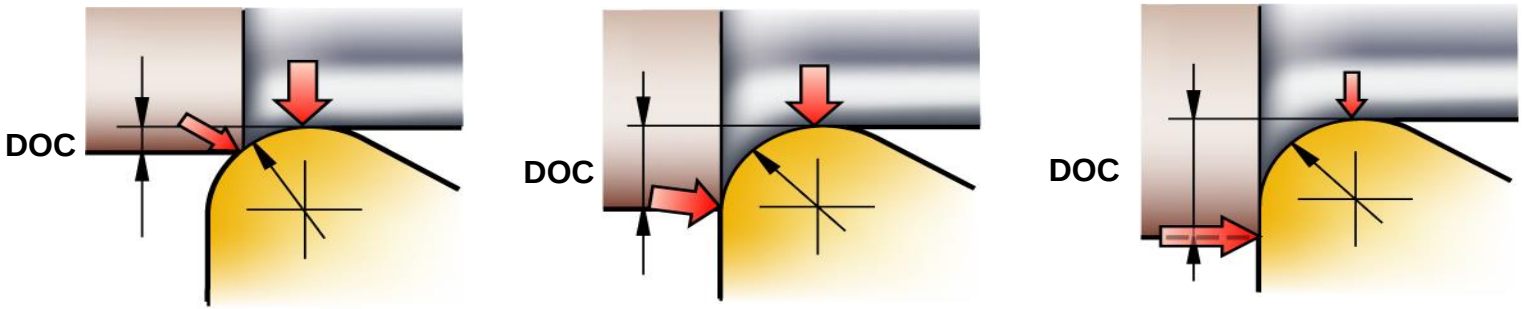
- ½è Õ¿ ÜÐïÏ ø½ÞÂøÞÂ ¼âÿ
- úÅŒÐÞí ÖŒÔûÏŒâÂ ¼âÿ
- ÷¼ï øÞÂÐïÏ÷Äòè Ô

รูปร่างขนาดเล็ก

- ¿âí Üåí Üí ÞÑ÷½ŒÑïÂÅïÔÂí Ô Ïð¼âÿ
- àÏ ¼í ÞåžÔå ëÒŒÔ
- àÏ øÞÂÐïÏ÷Äòè Ô
- ½è Õ¿ ÜÐïÏ èÿè Ôøè ¼âÿ

Choose a nose radius smaller than depth of cut

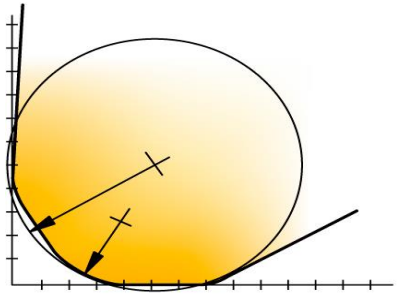
ทิศทางของแรงตัดเฉือนที่เกิดจากระยะกินลึกต่าง ๆ

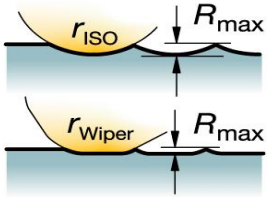


- การเลือกจมูกมีด กับระยะกินลึกที่ไม่สัมพันธ์กัน จะก่อให้เกิดการสะท้านได้
- โดยทั่วไปการเลือกจมูกมีดที่น้อยกว่าระยะกินลึก มักจะลดการสะท้านได้ เพราะแรงตัดเฉือนในแนวรัศมีจะลดลง

Wiper – Technical solution

ข้อมูลของเม็ดมีดกวาด





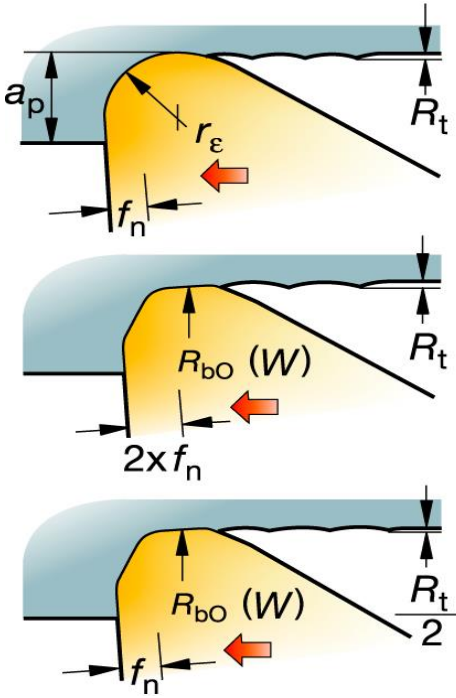
ซ้ายคือเม็ดมีดทั่วไป ขวาคือเม็ดมีดกวาด

ข้อมูลเชิงเทคนิค

- ในหนึ่งมุมประกอบด้วยรัศมีเล็กๆ 3-9 รัศมี
- พื้นผิวสัมผัสจะมีมากกว่าสำหรับเม็ดมีดกวาด
- พื้นที่สัมผัสที่มากกว่าจะช่วยตัดยอดคลื่นบนผิวชิ้นงาน ทำให้ได้ผิวงานที่เรียบขึ้น
- พื้นที่สัมผัสที่มากขึ้น บางครั้งอาจก่อให้เกิดการสะท้านได้ง่ายกว่าเม็ดมีดทั่วไป
- เม็ดมีดกวาดจะทำงานได้ดีในแนวกลึงปอก และปาดหน้าเป็นหลัก

Wiper – Surface finish

คุณภาพผิวงานจากเม็ดมีดกวาด

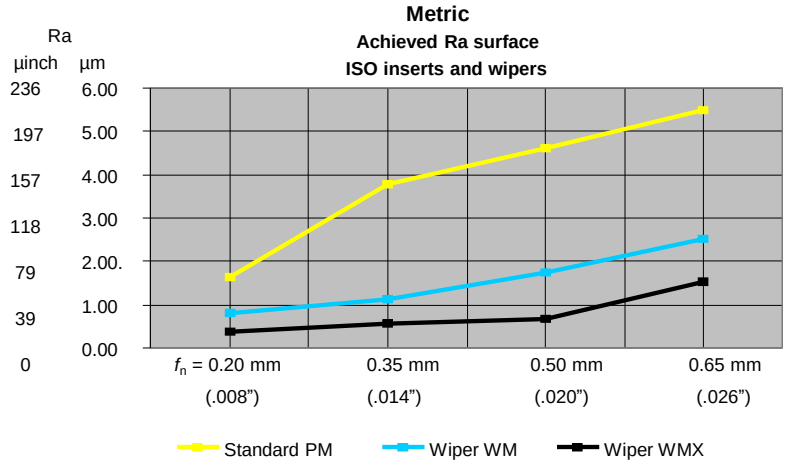


เม็ดมีดธรรมดา

เม็ดมีดกวาด (ค่าความเรียบผิวจะคงเดิม แต่เพิ่มอัตราป้อนได้เป็นสองเท่า)

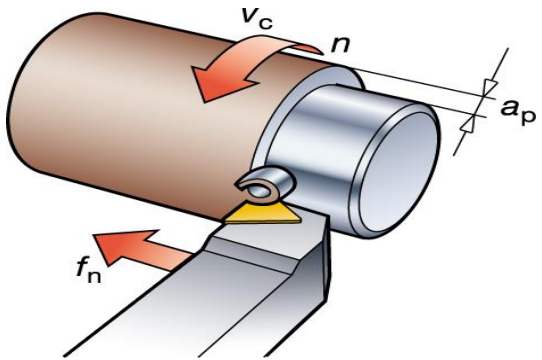
เม็ดมีดกวาด (ค่าความเรียบผิวลดลงครึ่งนึง เมื่อใช้อัตราป้อนเท่าเดิม)

กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพผิวงานกับอัตราป้อนที่ใช้



How cutting parameters effect Tool Life?

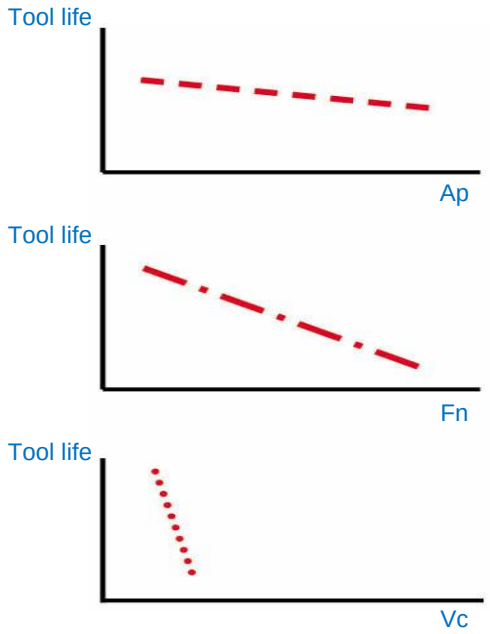
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีด



ข้อแนะนำตามลำดับในการเพิ่มผลผลิต

- a_p - เพื่อลดจำนวนครั้งในการเดินตัด
- f_n - เพื่อเพิ่มความเร็วในการเดินป้อน
- v_c - เพื่อควบคุมอายุการใช้งานของเม็ดมีด

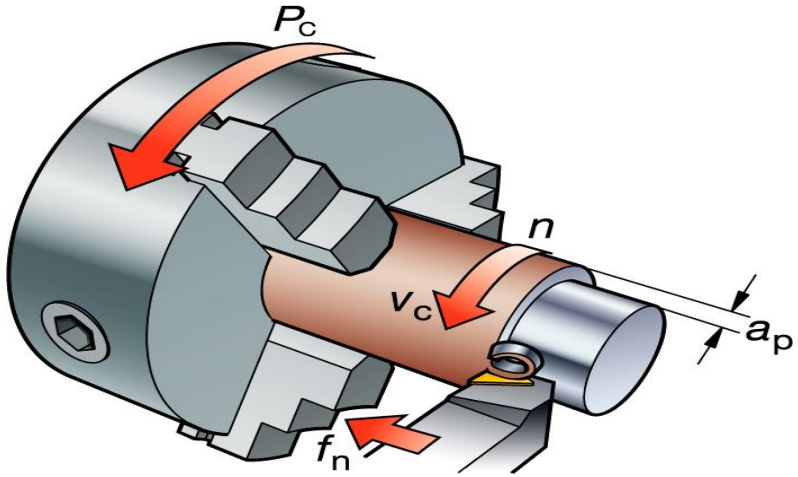
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุเครื่องมือ



- a_p - ระยะกินลึก
- f_n - อัตราป้อน
- V_c - ความเร็วตัด

Calculating of power consumption P_c (kW)

การคำนวณกำลังเครื่องจักรของงานกลึง



$$P_c = \frac{V_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3}$$

n = ความเร็วรอบ (rpm)

v_c = ความเร็วตัด (m/min)

f_n = อัตราป้อน (mm/rev)

a_p = ระยะกินลึก (mm)

k_c = แรงตัดเฉือนจำเพาะ (N/mm^2)

P_c = กำลังเครื่องจักรที่ต้องใช้ (kW)

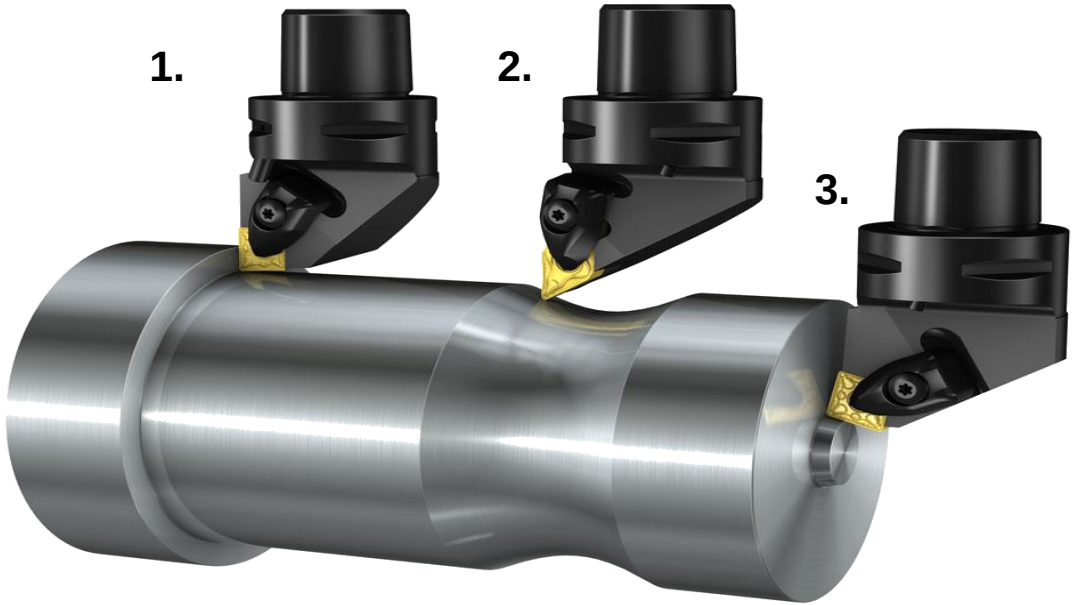
Choice of tools ด้ามมีดกลึง

» External turning and how to apply
กลึงนอก

» Internal turning and how to apply
คว้านใน

External turning, negative inserts

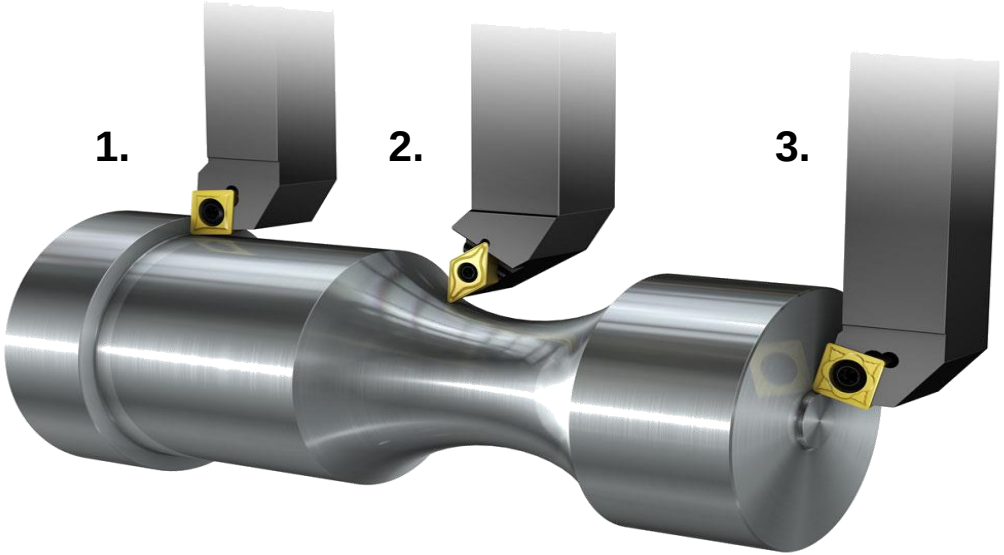
งานกลึงปอกนอก ในระบบมุมลบ



1. งานกลึงปอก
2. งานโปรไฟล์
3. งานปาดหน้า

External turning, positive inserts

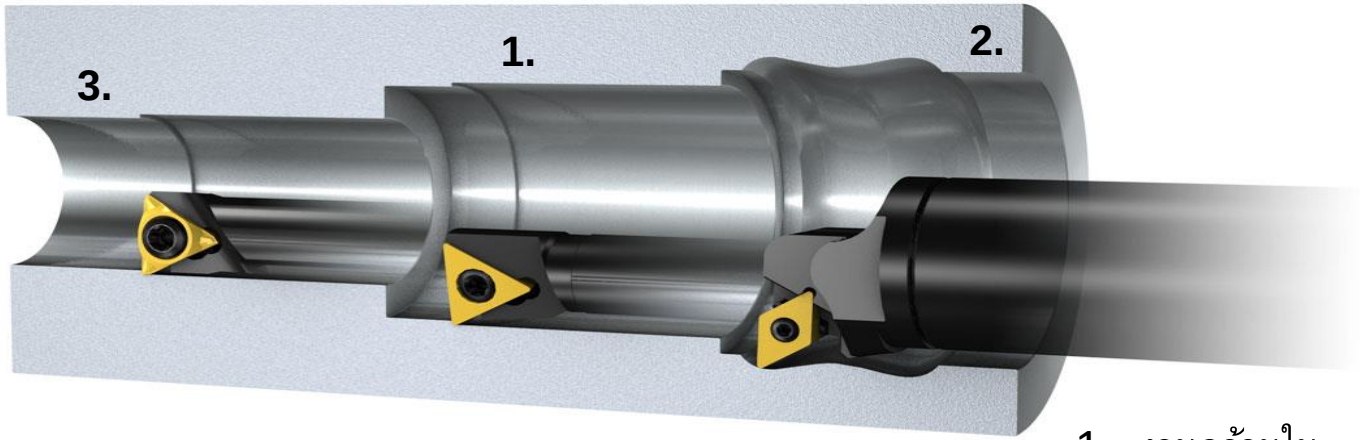
งานกลึงปอก ในระบบมุมบวก



1. งานกลึงปอก
2. งานโปรไฟล์
3. งานปาดหน้า

Internal turning

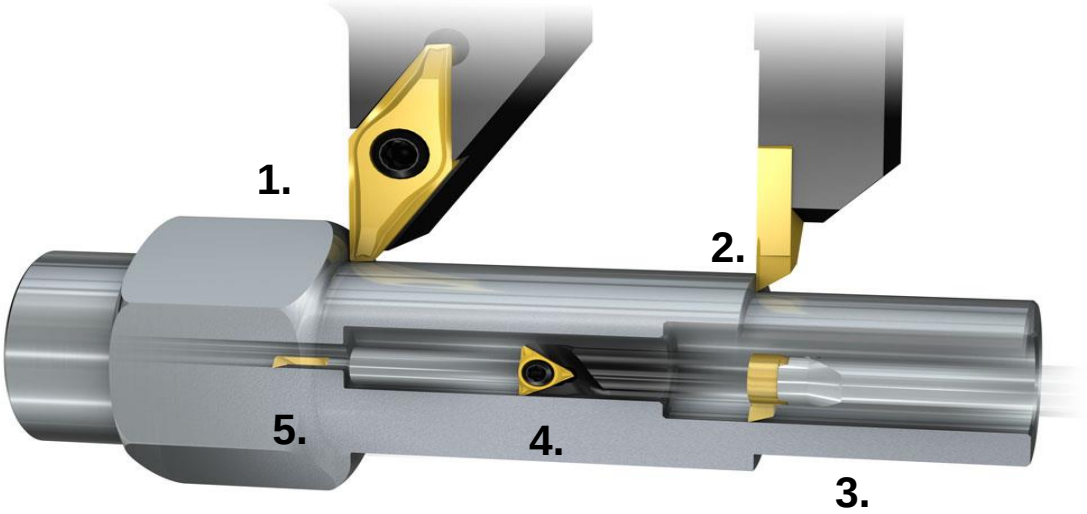
งานกลึงใน



1. งานคว้านใน
2. งานคว้านโปรไฟล์
3. งานคว้านขนาดเล็ก “Mini bars”

Tools for small part machining

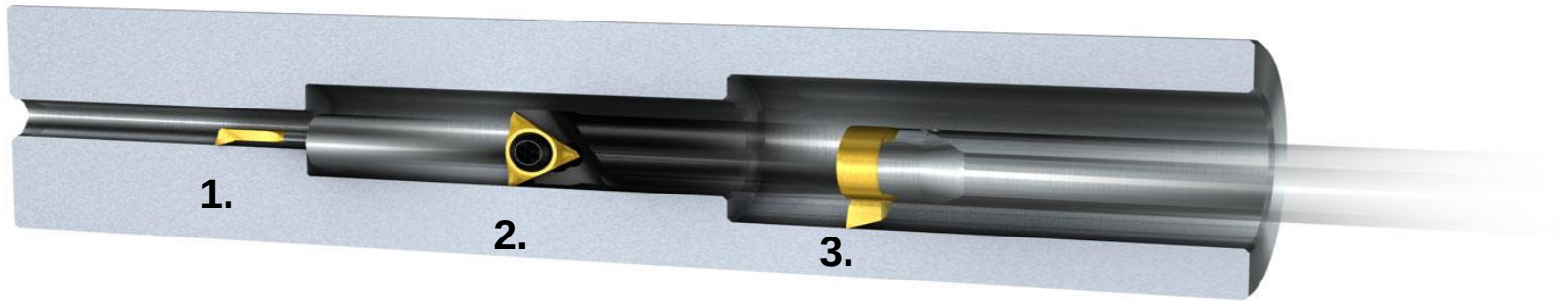
เครื่องมือสำหรับงานกลึงขนาดเล็ก



1. งานกลึงปอก
2. งานกลึงปอก (Sliding head machines)
3. งานคว้านใน (Exchangeable inserts)
4. งานคว้านใน
5. งานคว้านใน (Carbide rods)

Tools for small part machining

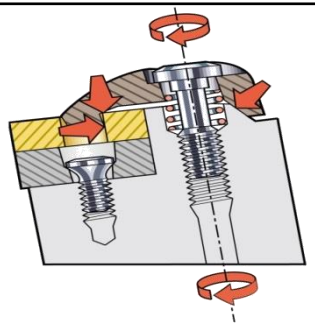
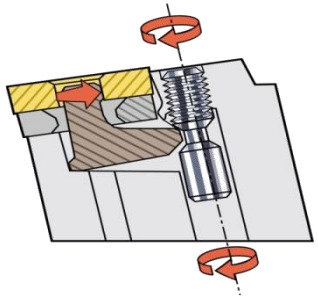
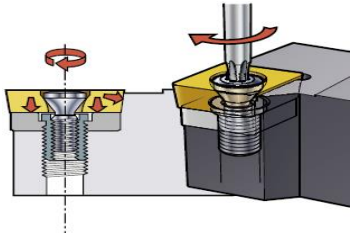
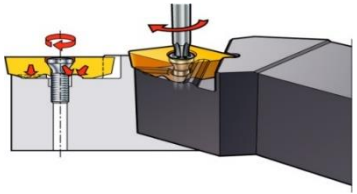
ด้ามมีดคว้านขนาดเล็กแบบต่าง ๆ



1. Internal turning (Carbide rods)
2. Internal turning (Boring bars)
3. Internal turning (Exchangeable inserts)

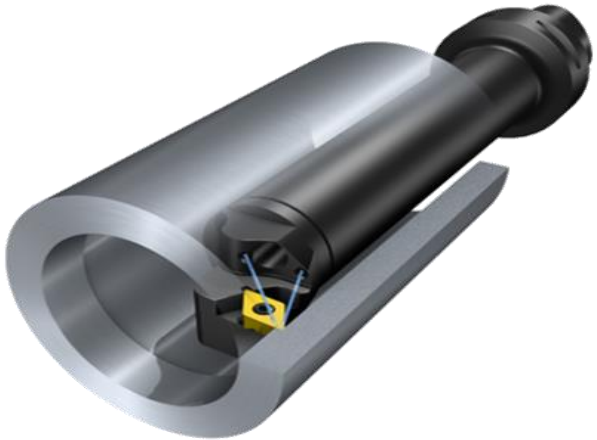
Modern insert clamping for turning tools

ข้อดีของการจับยึดแต่ละประเภท

Rigid clamping	“P lever Style”	Screw clamping	Screw clamping system, T-rail
			
• สำหรับเม็ดมุมลบ • แรงจับแน่นที่สุด สองทิศทาง • ถอดเปลี่ยน ดูแลรักษาได้ง่าย	• สำหรับเม็ดมุมลบ • ไม่กีดขวางเมื่อมีเศษยาว • ถอดเปลี่ยนง่าย	• สำหรับเม็ดมุมบวก • แรงจับแข็งแรง • ไม่กีดขวางเมื่อมีเศษยาว	• สำหรับเม็ดมุมบวก • แรงจับแน่นกว่าแบบสกรูทั่วไป • ให้ความแม่นยำสูงมาก

Toolholders for internal turning

ด้ามมีดคว้านใน



- ในงานคว้านใน การเลือกด้ามมีดมักถูกจำกัดด้วยขนาด และความลึกของรูที่จะต้องคว้านบนชิ้นงาน
- ให้เลือกขนาดด้ามมีดที่ใหญ่ที่สุด และระยะยื่นที่น้อยที่สุดเสมอไป
- การลำเลียงเศษออกจากรู ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลให้งานคว้านมีประสิทธิภาพ
- การจับยึดด้ามมีดก็มีปัจจัยที่สำคัญสำหรับคุณภาพของผิวงานคว้าน และการสั่นสะท้าน

Selection factors for internal turning

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่องานคว้านใน

เม็ดมีด

- มุมเข้างาน
- รูปร่างเม็ดมีด และมุมคายเศษ
- หน้าลายเม็ดมีด
- จมูกเม็ดมีด

การลำเลียงเศษ

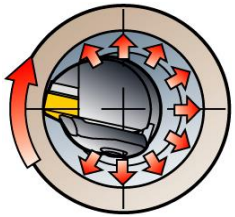
- ขนาดเศษ
- การควบคุมเศษ

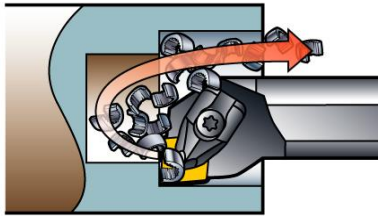
ด้ามมีด

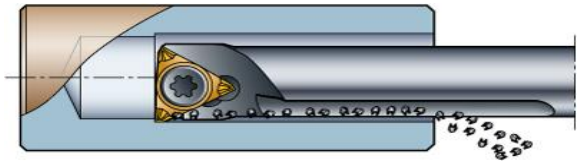
- ความยาว
- ขนาดศูนย์กลางด้ามมีด
- รูปร่างของด้ามมีด
- วัสดุของด้าม
- การจับยึดด้าม

Chip Evacuation

การลำเลียงเศษออกจากรู



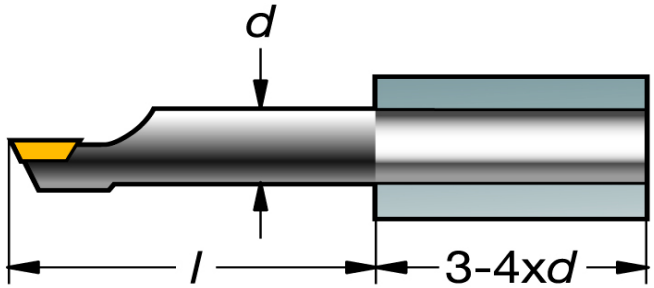


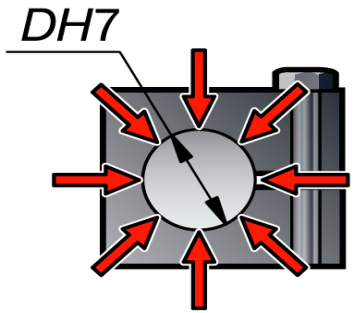


- แรงเหวี่ยงจากความเร็วรอบจะพาเศษโลหะมากระทบกับผิวในของรู
- เศษที่ยาวไม่เหมาะสม อาจทำลายคุณภาพผิวรูได้
- น้ำหล่อเย็นภายใน ที่ผ่านกลางเครื่องมือ จะช่วยไล่เศษได้เป็นอย่างดี
- การพลิกวางตำแหน่งหน้ามีดให้เหมาะสม จะช่วยนำพาเศษออกจากคมตัดได้ง่ายขึ้น

Way of clamping the boring bar

วิธีการจับยึดด้ามคว้าน

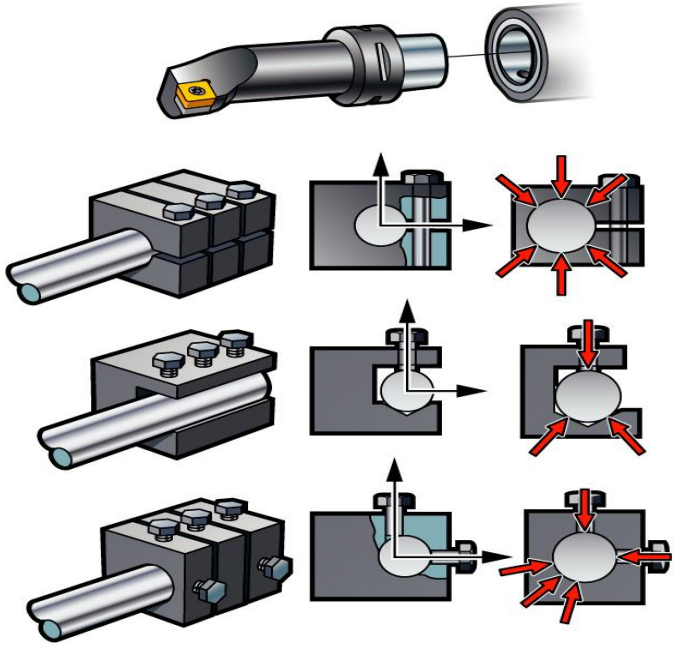




- ให้มีพื้นที่สัมผัสมากที่สุดระหว่างด้าม และตัวจับ ให้คำนึงถึงลักษณะด้าม และค่าพิกัดของด้ามด้วย
- ความยาวในการจับด้ามไม่ควรน้อยกว่าสามถึงสี่เท่าของขนาดศูนย์กลางด้าม
- ความมั่นคงแข็งแรงของวัสดุด้าม และตัวจับต้องเหมาะสม

Tool requirements for clamping

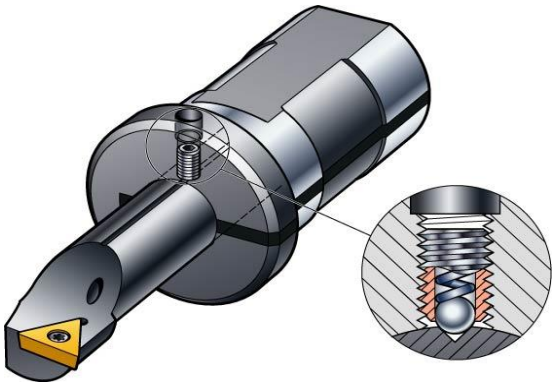
เปรียบเทียบลักษณะการจับยึดแบบต่างๆ



- Best choice ดีที่สุด
- Acceptable ยอมรับได้
- Not recommended ไม่แนะนำ
- Not acceptable ยอมรับไม่ได้

EasyFix sleeves

ปลอกสวมสำหรับการจับด้ามคว้านที่แม่นยำ



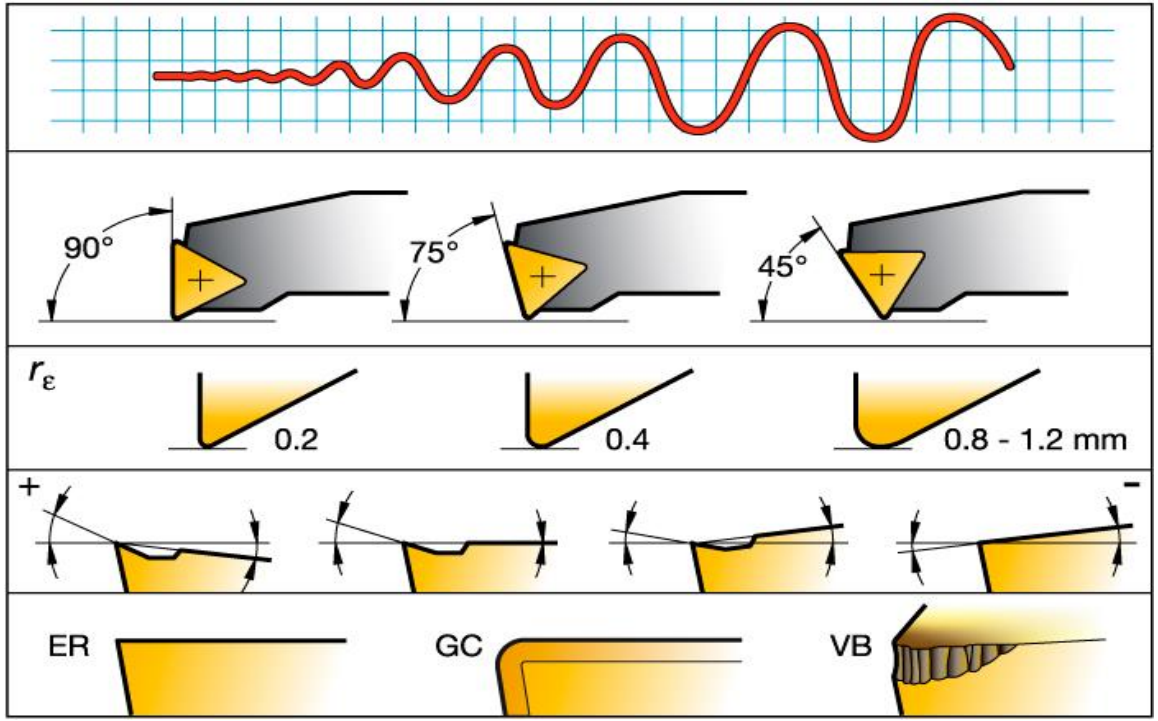
- สามารถหา centre height ของด้ามมีดได้อย่างแม่นยำ

<u>คุณประโยชน์</u>

- ได้คมตัดที่ถูกตำแหน่งอย่างแม่นยำ
- ให้คุณภาพผิวงานที่ดียิ่งขึ้น
- ลดเวลาในการติดตั้ง ประกอบด้ามมีด
- เกิดการสึกหรอของเม็ดมีดที่คงที่ สามารถคาดการณ์อายุของเม็ดมีดได้ง่าย

Factors that affect the vibration tendenacies

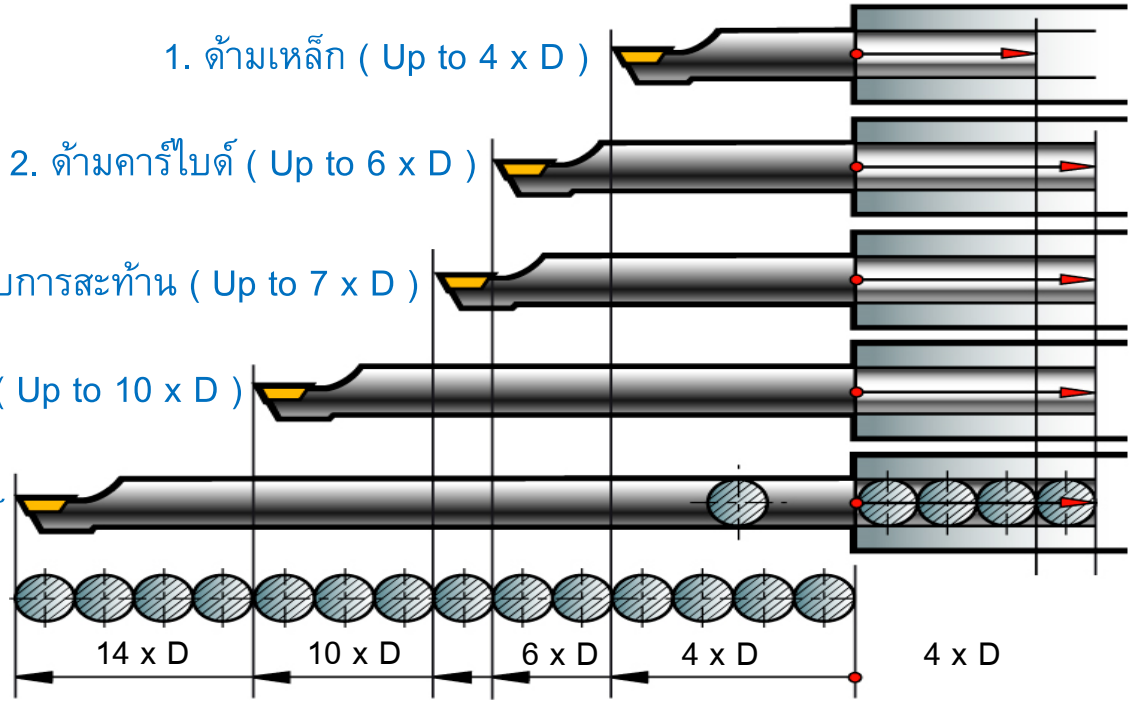
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสะท้าน (เพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา)



Recommended tool overhang

ระยะยื่นสูงสุด สำหรับด้ามคว้านแต่ละประเภท

1. ด้ามเหล็ก (Up to 4 x D)
2. ด้ามคาร์ไบด์ (Up to 6 x D)
3. ด้ามรองรับการสะท้าน (Up to 7 x D)
4. ด้ามรองรับการสะท้านแบบยาว (Up to 10 x D)
5. ด้ามรองรับการสะท้านที่ทำจากคาร์ไบด์ (Up to 14 x D)

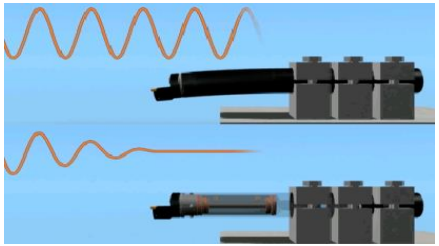


Internal machining with damped boring bars

ระบบดูดซับการสะท้าน

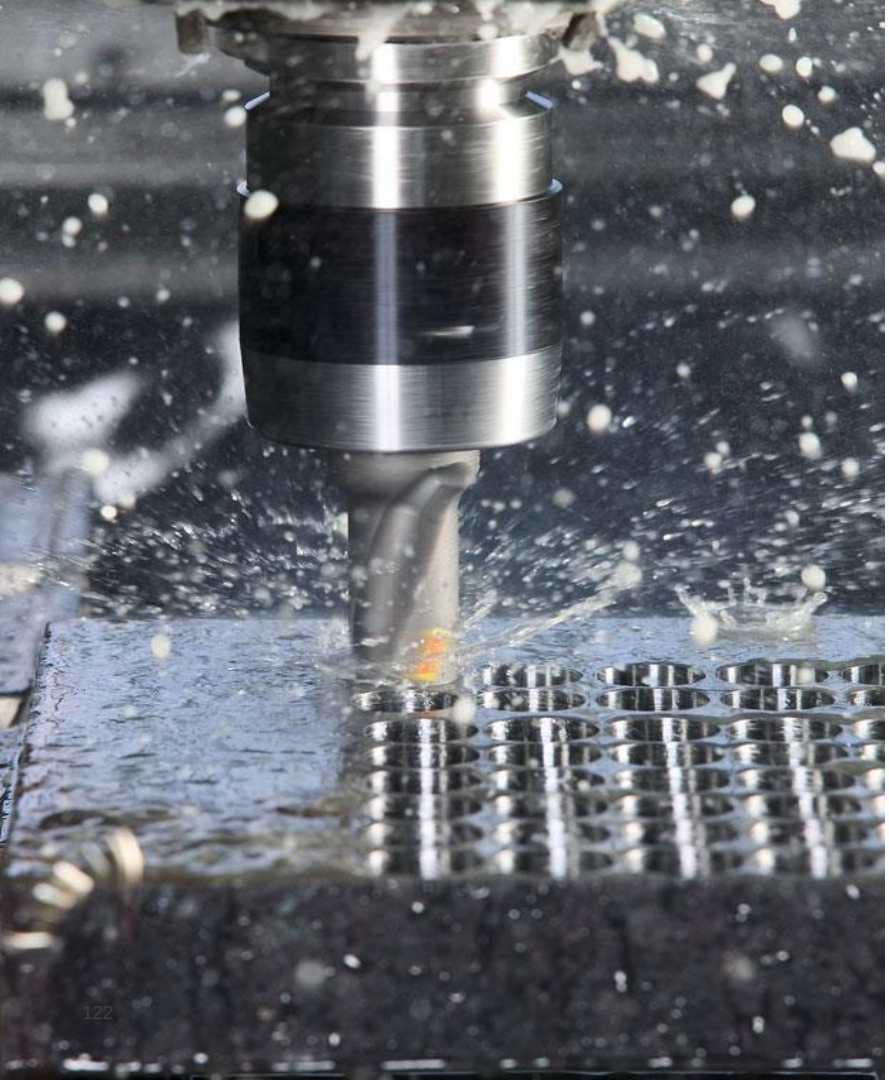
ด้ามเหล็กทั่วไป

ด้าม



SilentTools®

- ช่วยเพิ่มความเร็วในการคว้านรูลึกๆ
- ลดปัญหาการสั่นสะท้าน
- ช่วยปรับปรุงคุณภาพผิวงานจากการสะท้าน
- ระบบ Silent Tools นี้มีตั้งแต่
  - ขนาดด้ามเริ่มต้น 10 mm
  - ความยาวด้ามไปจนถึง 14 x D (carbide reinforced)



Drilling Theory
ทฤษฎีงานเจาะ

การเจาะ คือ การสร้างรูทรงกระบอกลงบนชิ้นงานด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า ดอกสว่าน

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of AB Sandvik Coromant

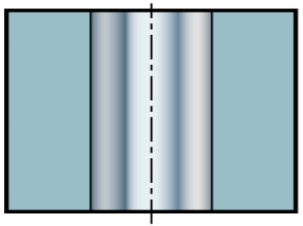
The drilling process

กระบวนการเจาะรู

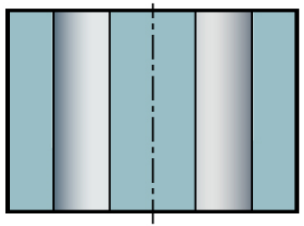
- งานเจาะเป็นงานที่เครื่องมือทำงานอยู่ภายในชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นกระบวนการได้
- น้ำหล่อเย็นมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการคายเศษขณะเจาะงาน อีกทั้งยังรวมไปถึงอายุการใช้งานของเครื่องมือและผิวรูที่ได้อีกด้วย
- การควบคุมเศษ เป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญในงานเจาะ เพราะเมื่อใดก็ตามที่เศษไม่ออกจากรู ความเสียหายจะเกิดขึ้น

Four common drilling methods

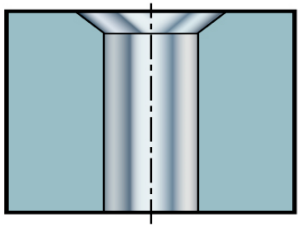
วิธีการทำรูแบบต่างๆ



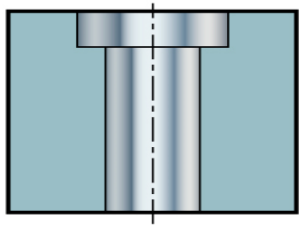
Drilling



Trepanning



Chamfer drilling



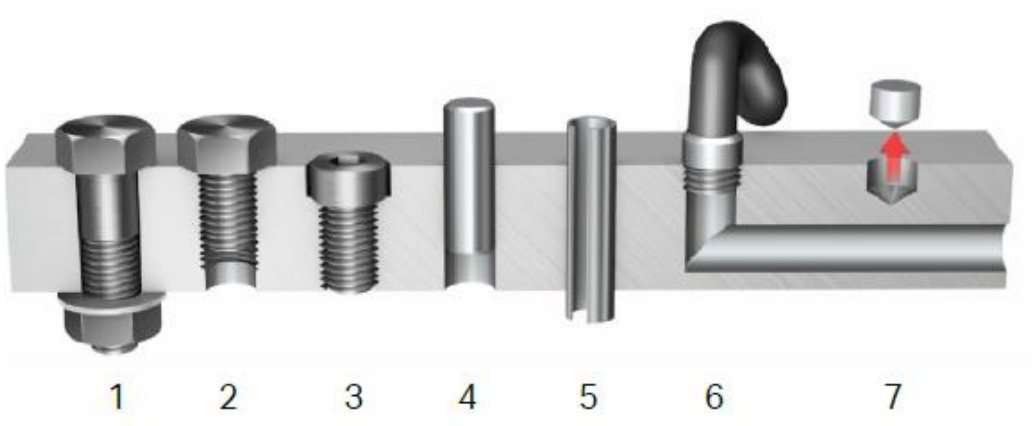
Step drilling

การทำรู สามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆกัน ดังเช่น

- การเจาะ Drilling
- การเจาะคว้านTrepanning
- การเจาะพร้อมลบขอบ Chamfer drilling
- การเจาะเป็นลำดับขั้น Step drilling

The most common holes

รูแบบต่างๆ

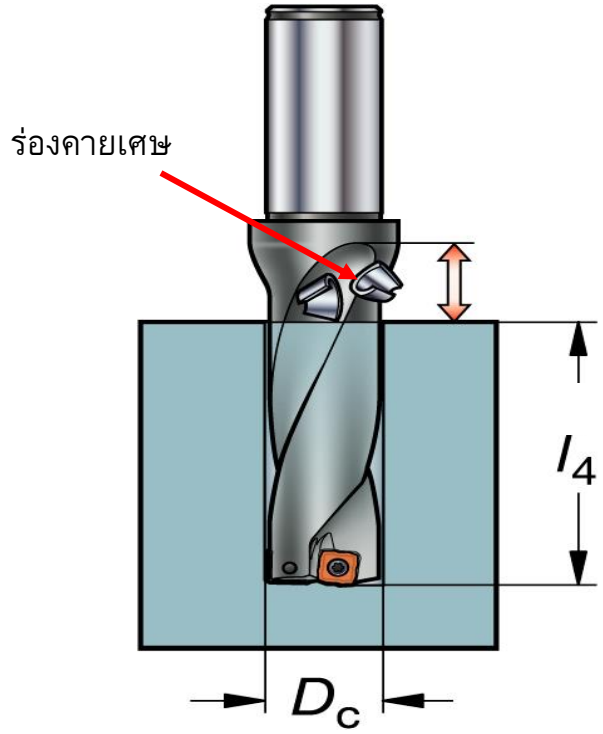


The most common holes are:

1. Holes with clearance for bolts
   รูสำหรับร้อยน็อตผ่าน
2. Holes with a screw thread
   รูสำหรับขันเกลียว
3. Countersink holes
   หัวที่ขันน็อตจม
4. Pressed fit holes
   รูประกอบพอดี
5. Slip fit holes
6. Holes that form channels
   รูผ่าน
7. Holes to remove weight for balancing
   รูเพื่อกำจัดวัสดุ

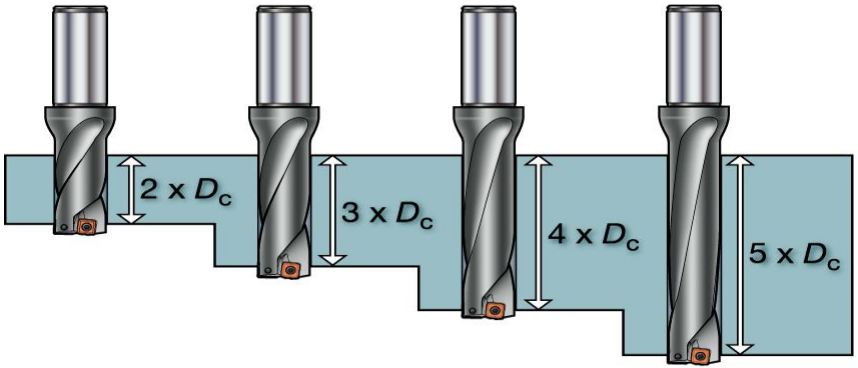
Maximum hole depth

ความลึกในการเจาะ



- ความลึกของรู เป็นตัวกำหนดความยาวของเครื่องมือที่จะต้องใช้
- การบอกความลึกสูงสุดในการเจาะ (l_4) จะบอกเป็นจำนวนเท่าของขนาดเครื่องมือ เช่น

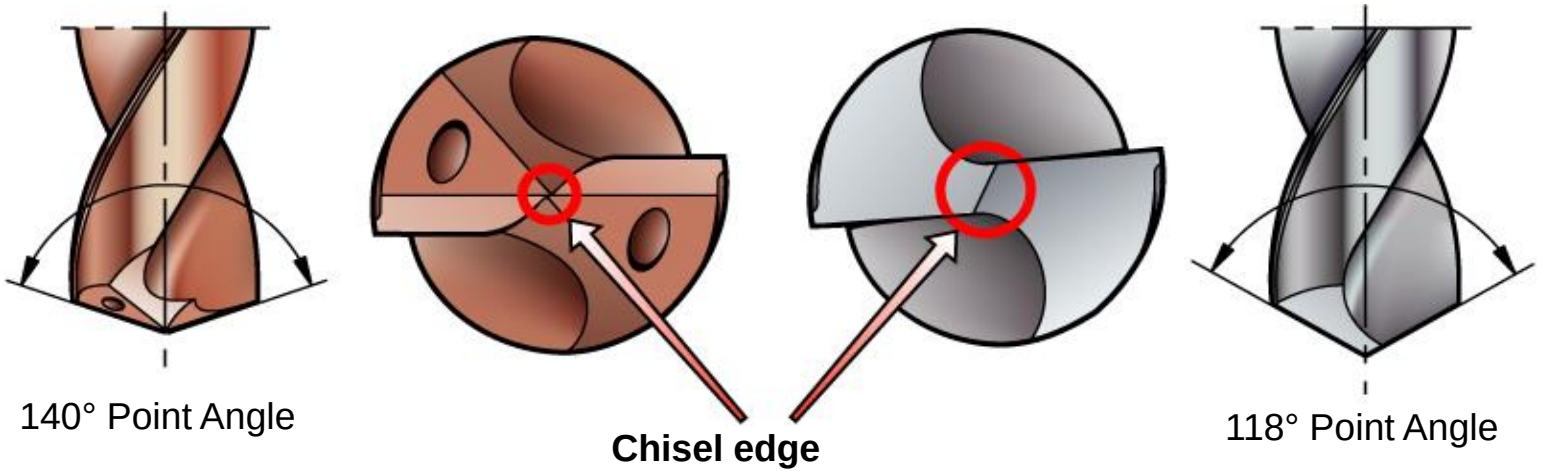
max hole depth $l_4 = 3 \times D_c$



Solid carbide drill vs. HSS drills

เปรียบเทียบคมจิกของสว่านคาร์ไบด์ และสว่านเหล็ก

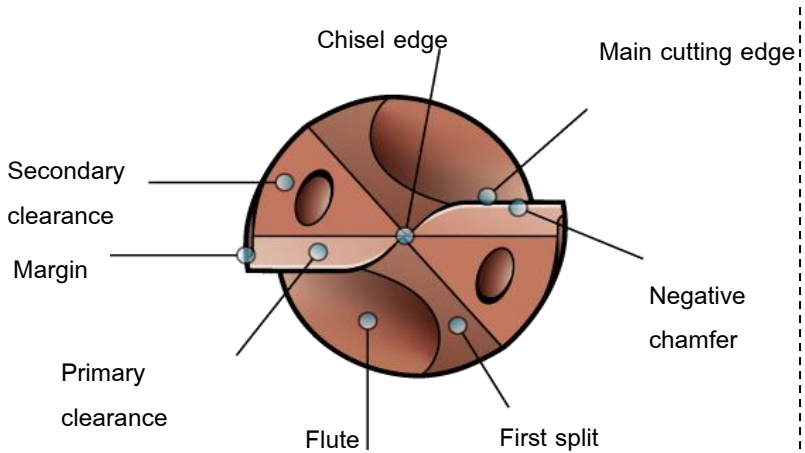
- แรงในแนวแกนของดอกสว่านคาร์ไบด์จะลดลงอย่างมาก เนื่องจากคมตัดบริเวณ chisel edge ถูกกำจัดไป
- คมตัดรูปตัว S จะช่วยในการหักเศษ และช่วยในการนำศูนย์รูที่แม่นยำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการเจาะนำด้วย Center Drill อีกต่อไป

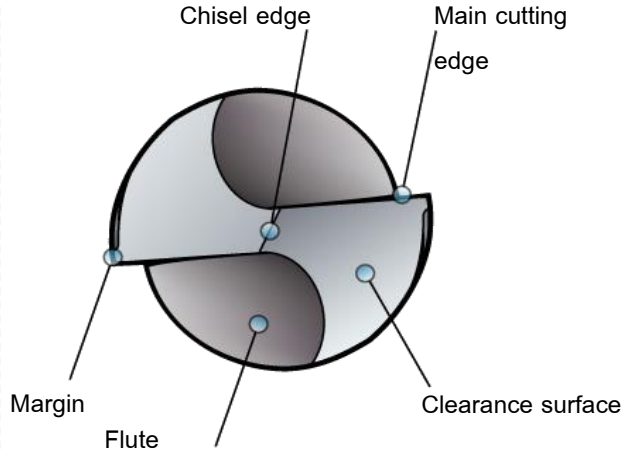


Solid carbide drill vs HSS-drill

ลักษณะเด่นของสว่านคาร์ไบด์ เมื่อเทียบกับสว่านเหล็ก

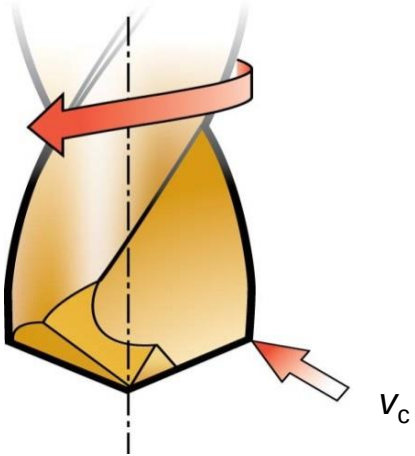
- คมจิกเป็นจุด ทำให้นำร่องรูแม่นยำกว่า
- คมตัดหลักยาวตั้งแต่ขอบจนถึงจุดศูนย์กลางดอก
- ทำงานได้เร็วกว่า
- มีอายุการใช้งานที่นานกว่า
- ใช้แรงบิดของเครื่องจักรน้อยกว่า
- ให้ค่าพิกัดรูที่แม่นยำกว่า





ผลกระทบจากความเร็วตัด

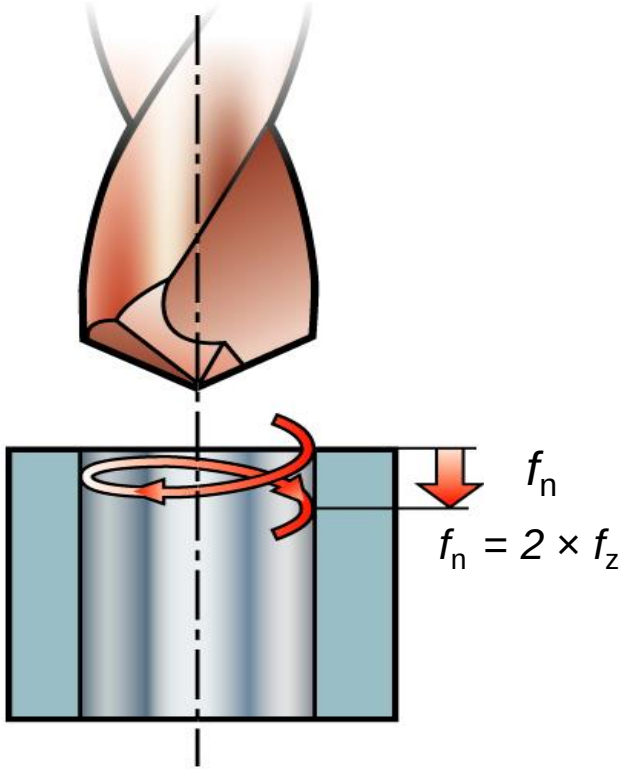
Effects of speed – v_c (m/min)



- เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือ
- ความเร็วตัดที่มากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิขณะทำงานสูงขึ้น และก่อให้เกิดการสึกด้านข้าง (flank wear) ที่บริเวณขอบนอกของดอกสว่าน (เม็ดมีดริม)
- ความเร็วตัดที่สูง จะช่วยเหลือในการฟอร์มเศษของวัสดุที่นิ่ม และมีเศษยาว เช่น low carbon steel

ผลกระทบจากอัตราป้อน

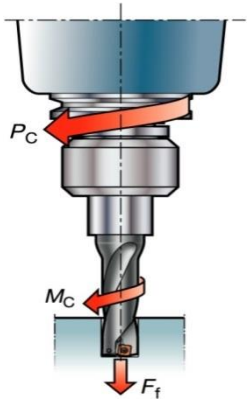
Effects of feed rate – f_n (mm/rev)



- ช่วยในการควบคุมเศษ และหักเศษ
- อัตราป้อนจะเป็นตัวกำหนดความเรียบผิวของผนังรู
- เป็นตัวกำหนดระดับของแรงป้อน (feed force)
- เวลาในการเจาะได้รับผลกระทบอย่างมาก

การคำนวณกำลังของเครื่องจักรในงานเจาะ

Approximate calculation of power consumption P_c (kW)



ISO	MC	CMC	Country Europe	Germany	Great Britai
			Standard		
			DIN EN	W.-nr.	BS
P	Unalloyed steel				
	P1.1.Z.AN	01.1	S235JR G2	1.0038	4360 40 C
	P1.1.Z.AN	01.1	S235J2 G3	1.0116	4360 40 B
	P1.1.Z.AN	01.1	C15	1.0401	080M15
	P1.1.Z.AN	01.1	C22	1.0402	050A20
	P1.1.Z.AN	01.1	C15E	1.1141	080M15

① ②

Material cross reference list

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force k_c 1 N/mm²	Hardness Brinell HB	mc
P	01.1	Steel Unalloyed C = 0.10-0.25 %	1500	125	0.25
	01.2	C = 0.25-0.55 %	1600	150	0.25
	01.3	C = 0.55-0.80 %	1700	170	0.25
	01.4		1800	210	0.25
	01.5		2000	300	0.25
	02.1	Low-alloyed (alloying elements ≤ 5% Non-hardened	1700	175	0.25
	10.2	Hardened and tempered	2000	300	0.25

f_n = อัตราป้อนต่อรอบ (mm/rev)

v_c = ความเร็วตัด (m/min)

D_c = ขนาดเครื่องมือ (mm)

k_c = แรงตัดเฉือนจำเพาะ (N/mm²)

P_c = กำลังที่ใช้ (kW)

For example :

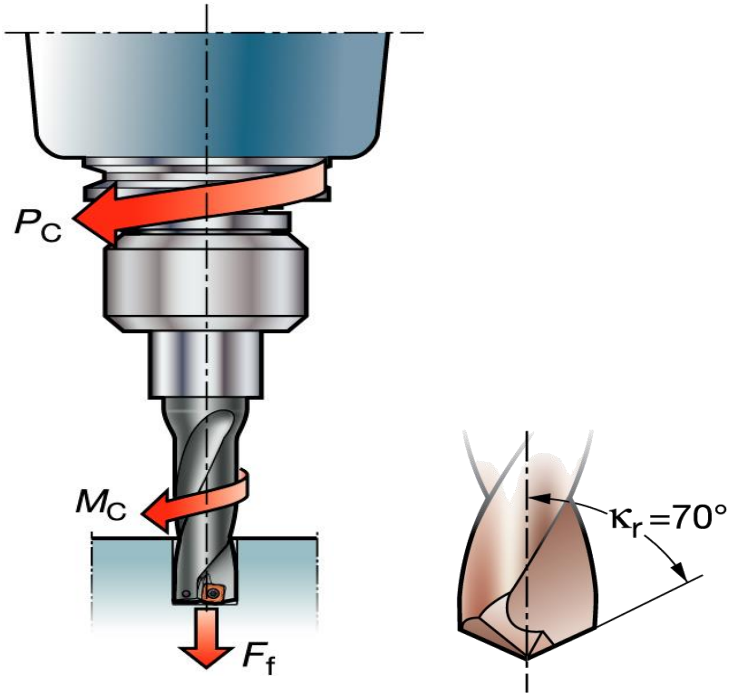
Material : S45C , cmc 01.2

Kc 1600 N/mm2

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times D_c \times k_c}{240 \times 10^3}$$

การคำนวณแรงบิด และแรงในการป้อน

Calculation of torque M_c (Nm) and feed force F_f (N)



n = ความเร็วรอบ (rpm)

f_n = อัตราป้อนต่อรอบ (mm/rev)

D_c = ขนาดเครื่องมือ (mm)

k_c = แรงตัดเฉือนจำเพาะ (N/mm^2)

F_f = แรงในการป้อน (N)

M_c = แรงบิด (Nm)

P_c = กำลังเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะ (kW)

$$F_f = 0.5 \times k_c \times \frac{D_c}{2} \; f_n \times \sin \kappa_r$$

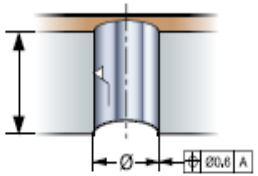
$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

การวางแผนการผลิต

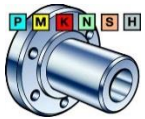
Production planning process

1 ศึกษาชิ้นงาน

ขนาดของรูและคุณภาพที่ต้องการ



ชนิดวัสดุและปริมาณการผลิต

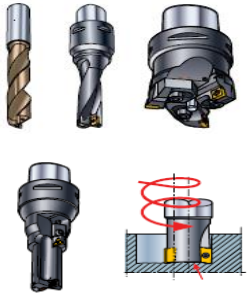


2 ศึกษาเครื่องจักร

รายละเอียดเครื่องจักร

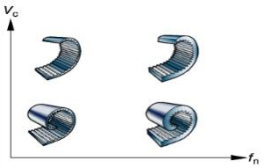
3 รูปแบบเครื่องมือ

ชนิดเครื่องมือ



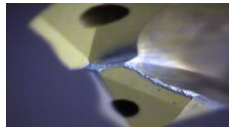
4 ประยุกต์ใช้งาน

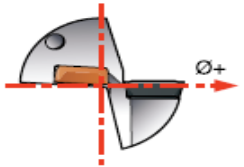
ตัวแปรการตัดเฉือนน้ำหล่อเย็น



5 แก้ไขปัญหา

การสึกหรอกและการควบคุมค่าพิกัดรู



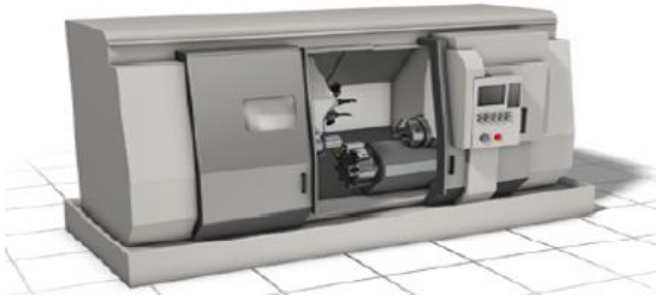


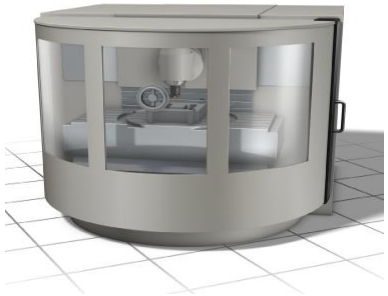
1. ชิ้นงานและวัสดุ

P M K
N S H

- **ชิ้นงาน**
  - เป็นรูกลางชิ้นงาน หรือรูเยื้องศูนย์ สามารถทำงานบนเครื่องกลึงได้หรือไม่
  - ระบบจับยึด และการสั่นสะท้าน
  - ระยะยื่น และความลึกของรูเจาะ
- **วัสดุ**
  - ความยากง่ายในการตัดเฉือน
  - การหักเศษ
  - ความแข็ง
  - วัสดุเจือปน อัลลอยด์ต่างๆ

2. รายละเอียดต่างๆของเครื่องจักร





- ความมั่นคงแข็งแรง
- ความเร็วรอบ
- ระบบจ่ายน้ำหล่อเย็น
- การจับยึดชิ้นงาน
- ทิศทางของหัวจับสปินเดิล (horizontal/vertical)
- กำลังของสปินเดิล
- จำนวนช่องใส่เครื่องมือ (no. of magazine)

3. รูปแบบเครื่องมือ

Drilling and Boring

ประโยชน์

- เป็นเครื่องมือมาตรฐาน
- ทำโปรแกรมง่าย
- ทำงานได้รวดเร็ว

ข้อจำกัด

- ต้องการสองเครื่องมือในการทำงานควบคู่กัน

Step drilling

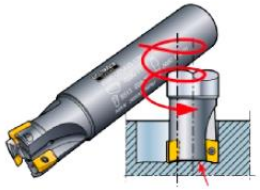
ประโยชน์

- ทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น
- ลดจำนวนช่องใส่เครื่องมือในเครื่องจักร

ข้อจำกัด

- ต้องการกำลังของเครื่องจักรที่มากขึ้น
- ความยืดหยุ่นในการทำงานน้อยลง

Milling, helical interpolation



ประโยชน์

- เป็นเครื่องมือมาตรฐาน
- มีความยืดหยุ่นสูง
- กินแรงเครื่องจักรน้อย

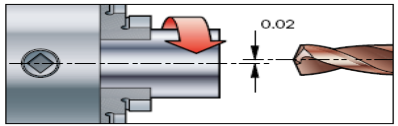
ข้อจำกัด

- ใช้เวลาในการทำงานมาก

4. ประยุกต์ใช้งาน

ระบบจับยึด (Tool holding)

- ประกอบให้สั้นที่สุด
- เลือกระบบจับยึดที่จับแบบร่วมศูนย์

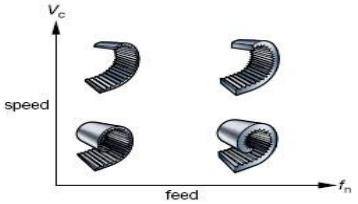


ค่าการแกว่ง (Tool run-out)

- ขึ้นกับสปินเดิล และระบบจับยึด

การคายเศษ

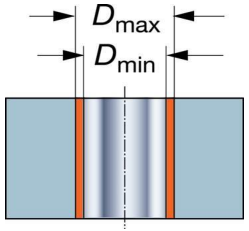
- เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบถึงคุณภาพรู และเวลาในการทำงาน

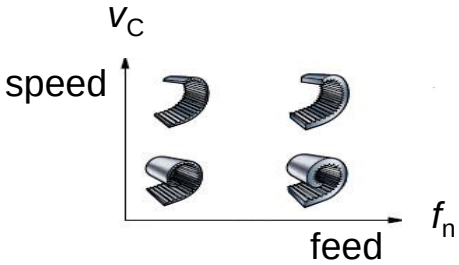


Cutting data

- ส่งผลกระทบถึงเวลาในการทำงาน และอายุเครื่องมือ

5. การแก้ไขปัญหา

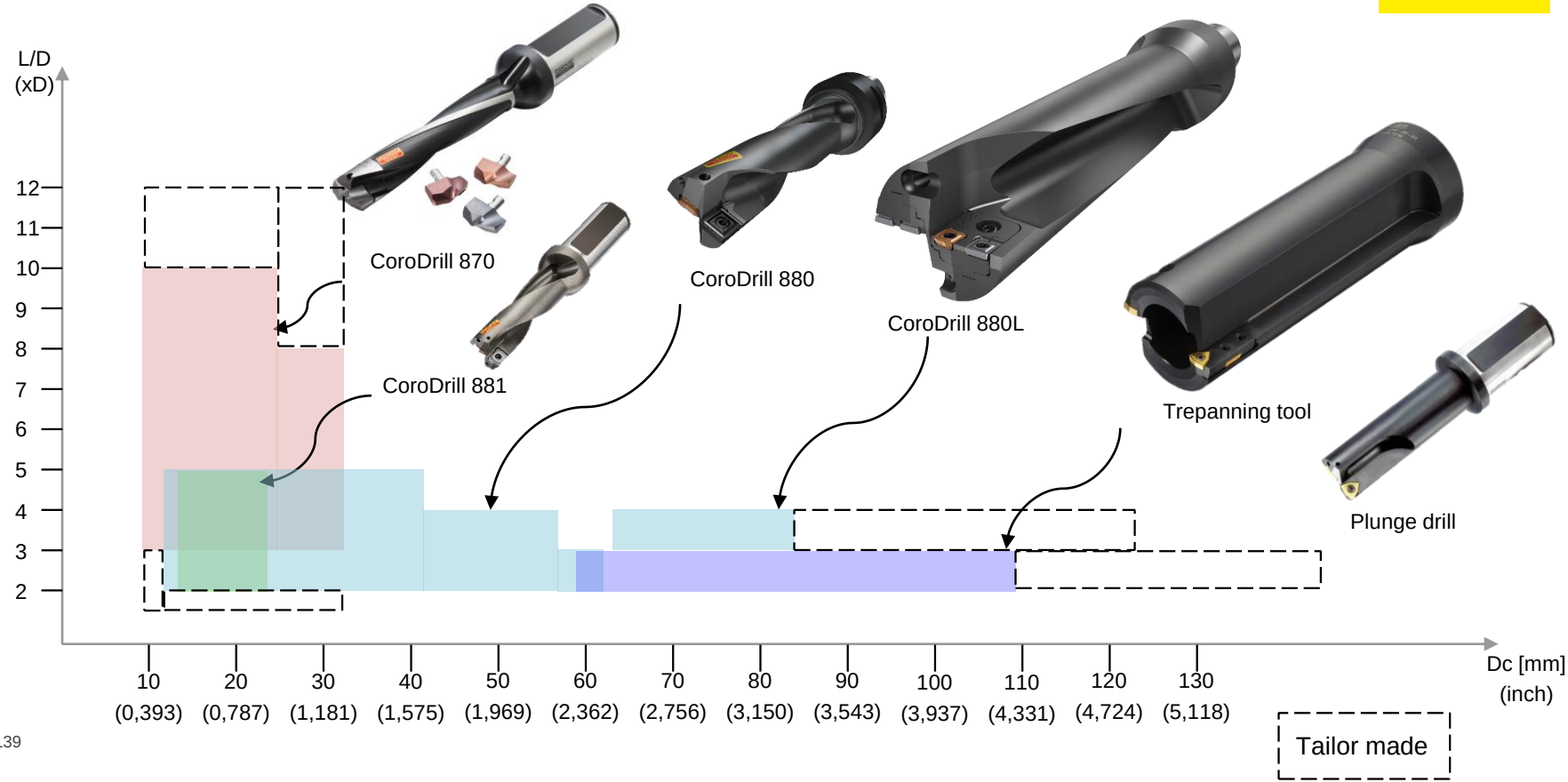




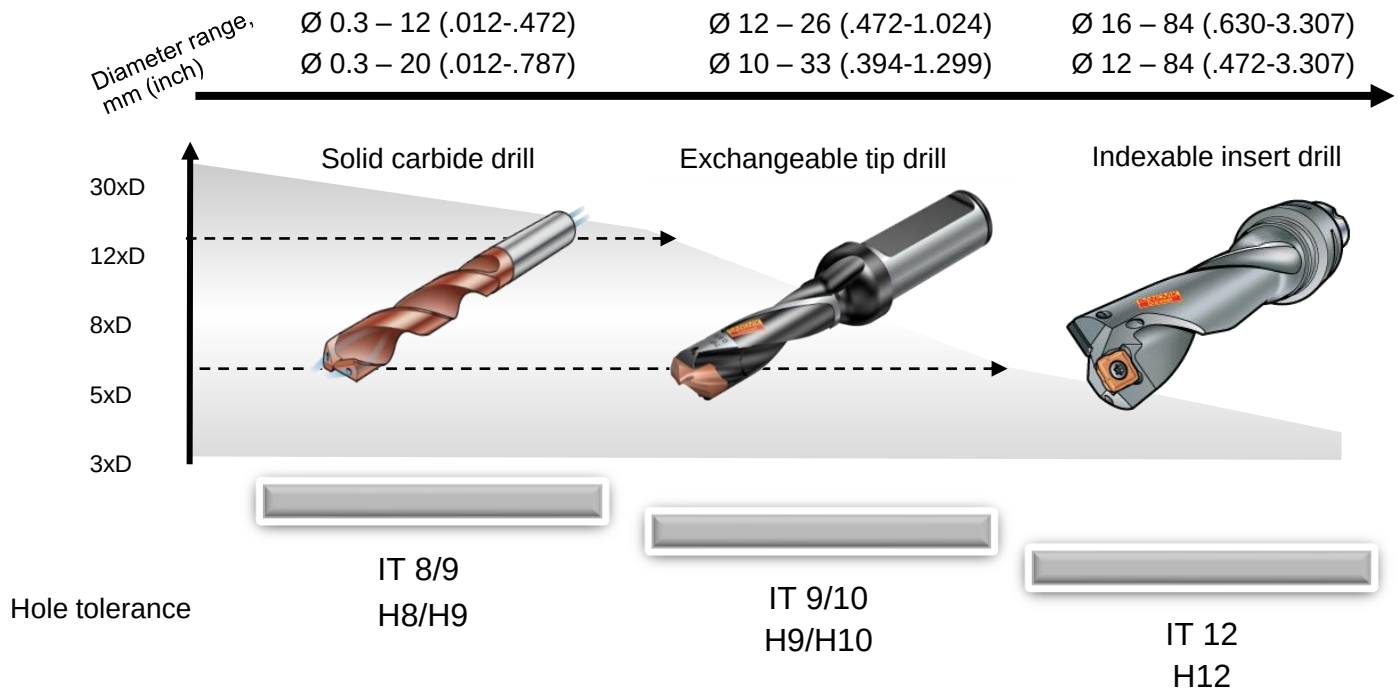
- การสึกหรอ และอายุการใช้งาน
- การคายเศษ
- คุณภาพรู และค่าพิกัดรู
- Cutting data

Choice of tools

รูปแบบของเครื่องมือ ตามขนาดและความยาวของรู



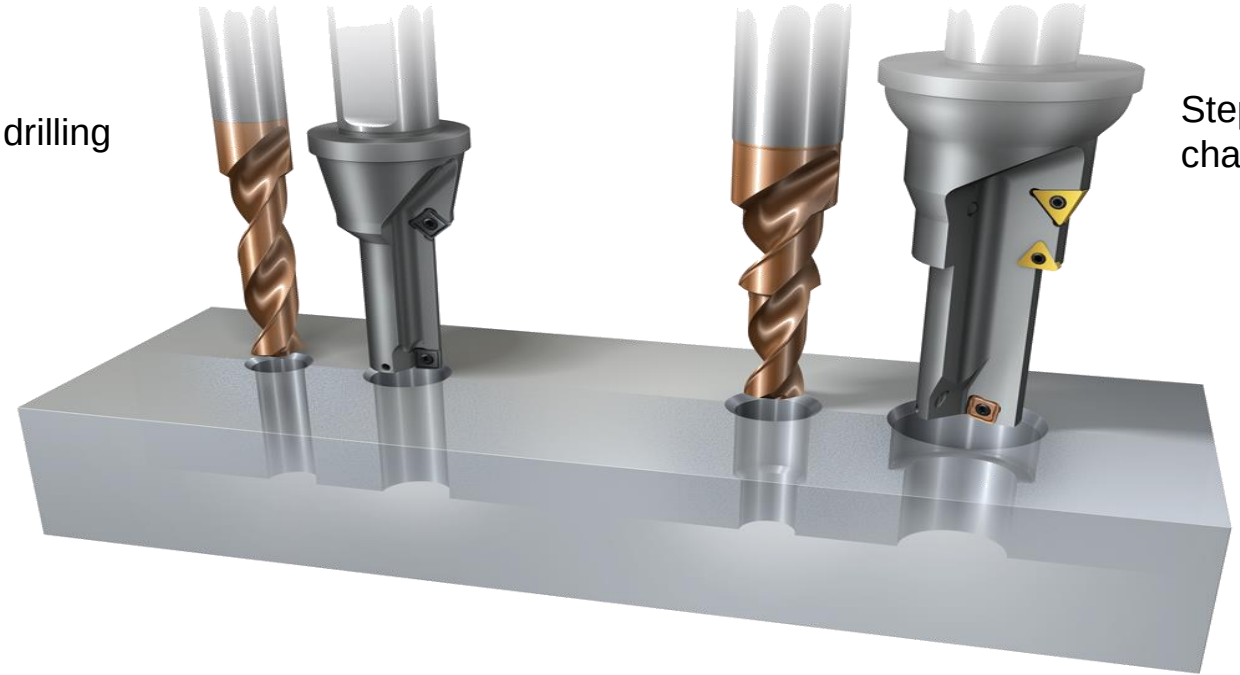
Which drill type to use?



Step and chamfer drilling

การเจาะแบบเป็นสเต๊ป และมีขอบแชมเฟอร์

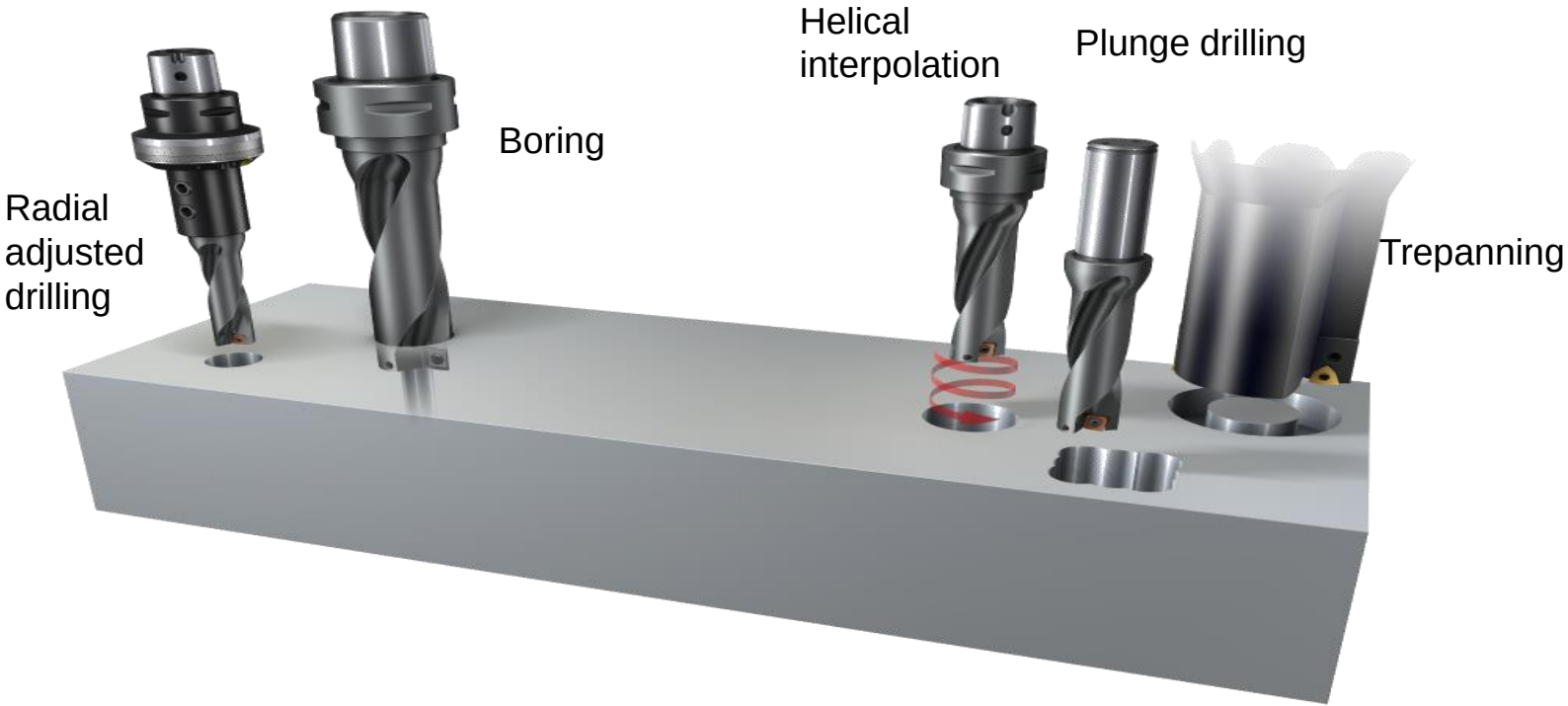
Chamfer drilling



Step or step and chamfer drilling

Other methods

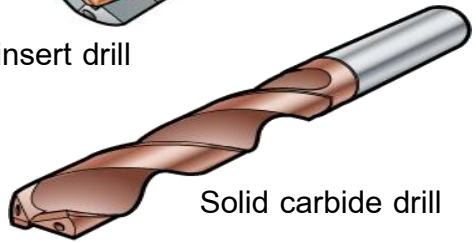
วิธีการอื่นๆ



Positioning of short hole drills

ประเภทของดอกสว่าน

Indexable insert drill



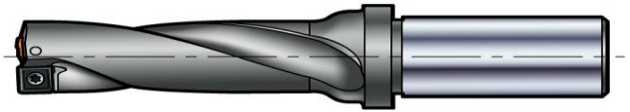
Solid carbide drill

Exchangeable tip drill

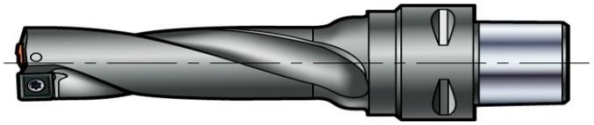
- The indexable insert drill, **CoroDrill 880**, ควรพิจารณาเป็นตัวเลือกแรกเสมอ เนื่องจากต้นทุนที่ต่ำในการงานของเครื่องมือ อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ทำงานอื่นได้นอกจากงานเจาะ
- The solid carbide drill, **CoroDrill 860 หรือ 460** เป็นตัวเลือกแรกเมื่อต้องการเจาะรูขนาดเล็ก หรือเมื่อต้องการรูที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย (precision)
- The exchangeable tip drill, **CoroDrill870** เป็นตัวเลือกที่อยู่ระหว่าง Solid carbide กับ Indexable insert Drill

Mounting options

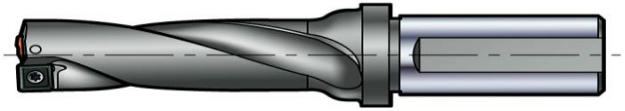
ลักษณะการจับยึดที่ด้ามของดอกสว่าน



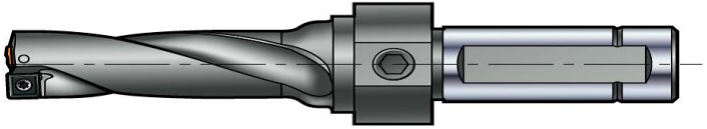
Cylindrical Shank



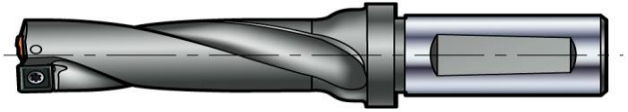
Coromant Capto© coupling



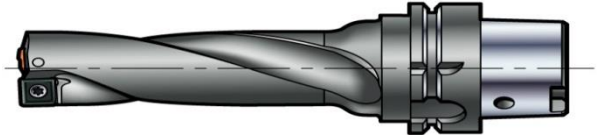
Cylindrical with Flat



P-Shank



Whistle Notch



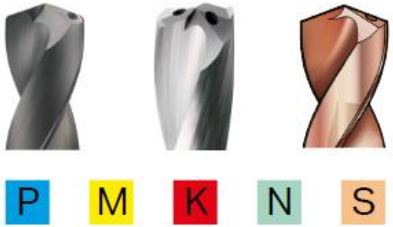
Other Modular Systems

Solid carbide drills

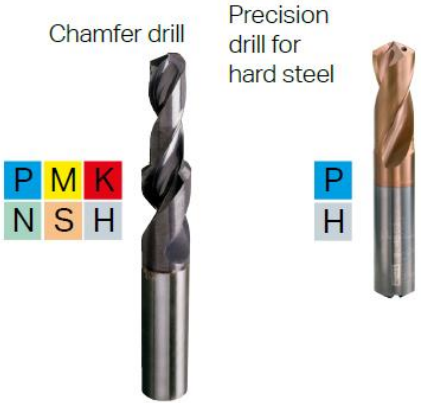
สว่านแบบคาร์ไบด์ทั้งด้าม

The basic choice

Material optimized drills

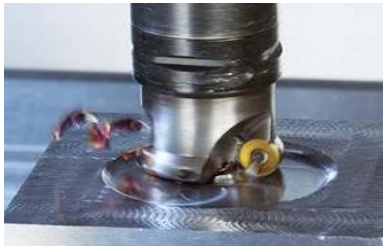


Application optimized drills



การเจาะรูขนาดใหญ่

Larger hole diameters and power requirements



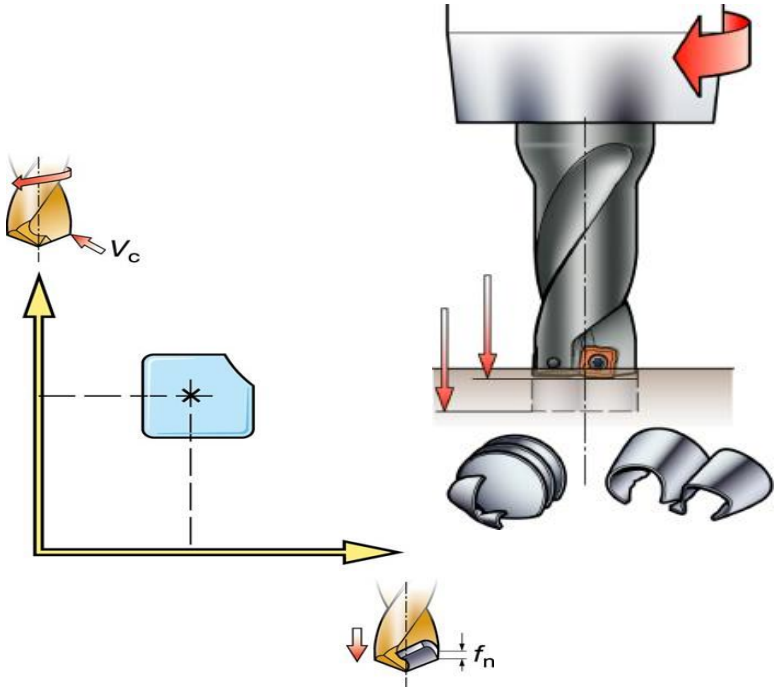
- ดอกสว่านแบบติดเม็ดมีดมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ 80 mm.
- Trepanning จะใช้เมื่อกำลังของเครื่องจักรมีจำกัด และมีขนาดสูงสุดถึง dia 110 mm
- หัวกัด (milling cutter) สามารถใช้ในงานทำรู หรือคว้านเก็บละเอียดรูได้ โดยวิธีการเดินควงแบบ helical หรือcircular interpolation วิธีการนี้อาจจะทำงานได้ช้ากว่าสว่านทั่วไป แต่ก็แก้ปัญหาในเรื่องการควบคุมเศษกับวัสดุที่มีเศษยาวได้

How to apply

การประยุกต์ใช้งานของสว่าน

การติดตั้งเครื่องมือ

Setting-up routine



- เลือกสว่านดอกที่สั้นที่สุดเสมอ
- ตรวจสอบความยาวของคมตัด
- ลองเจาะรูตื้นดูก่อนเพื่อตรวจสอบลักษณะของเศษ
- รวมถึงตรวจสอบขนาด และค่าพิกัดของรูที่ได้
- ตรวจสอบดอกสว่าน ว่าไม่เกิดการเสียดสีใดๆที่ผิดปกติ
- เพิ่มหรือลด cutting data ตามความเหมาะสม

CHIP CONTROL

การควบคุมเศษ

Excellent

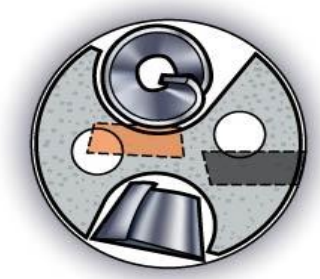
ดีมาก

Acceptable

ยอมรับได้

Not acceptable

ไม่เหมาะสม



- โดยทั่วไป การไล่เศษออกจารูได้ คือการควบคุมเศษที่เหมาะสม
- เศษที่ยาว จะก่อให้เกิดการติดขัดในร่องเลื้อยได้
- ผิวของชิ้นงานมีโอกาสเสียหาย เมื่อมีเศษยาว
- ความยาวของเศษยังขึ้นอยู่กับหน้าลายของเม็ดมีดที่ใช้

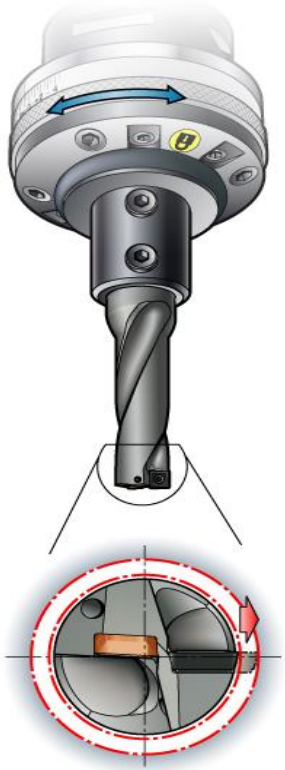
ALIGNMENT

ความร่วมศูนย์ของเครื่องมือและชิ้นงาน

- เมื่อรูมีขนาดใหญ่ไป หรือเล็กไป หรือ เม็ดมีดกลางบิ่นแตกบ่อยๆ อาจเกิดจากการไม่ร่วมศูนย์ได้
- ปรับทิศทางด้ามมีด 180° อาจช่วยแก้ปัญหานี้ได้
- สภาพของสปินเดิลที่เหมาะสม และตัวจับเครื่องมือที่มีคุณภาพ เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการร่วมศูนย์

การปรับขนาดเครื่องมือ

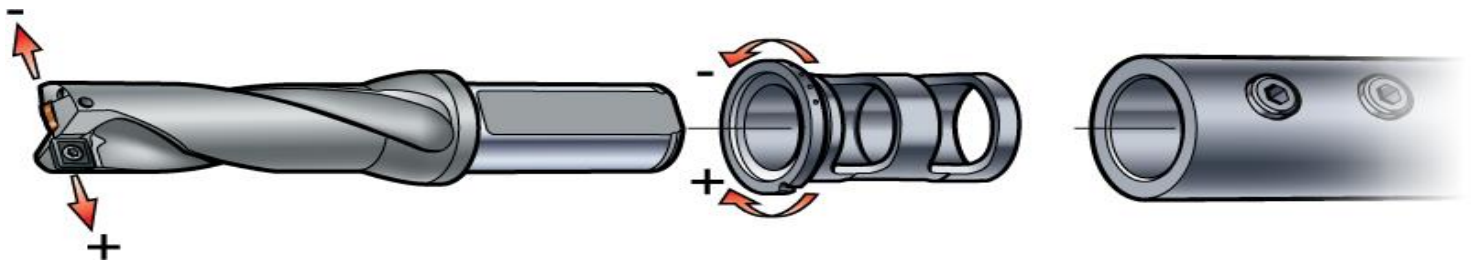
Adjustable holder

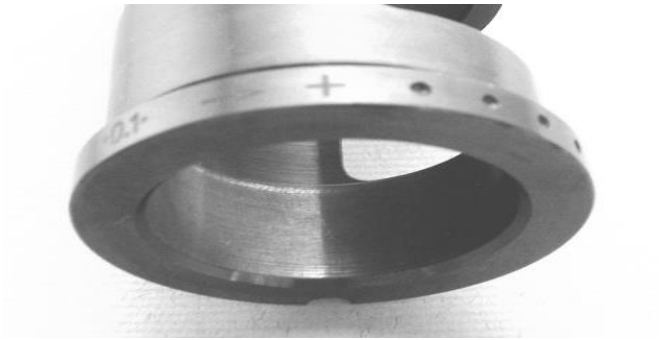


- มีความละเอียดของมาตรวัดในการปรับอยู่ที่ 0.05 mm ในแนวรัศมี
- สามาถปรับขนาดรัศมีได้ตั้งแต่ -0.2 /+0.7 mm.
- อาจจำเป็นต้องลดอัตราป้อนลงเล็กน้อย เมื่อทำการปรับค่าแล้ว
- มีปลอก (Sleeves) สำหรับปรับลักษณะ และขนาดด้ามต่างๆได้

การปรับขนาดด้วยปลอกปรับ

Adjustable sleeve for drills with ISO 9766 shanks

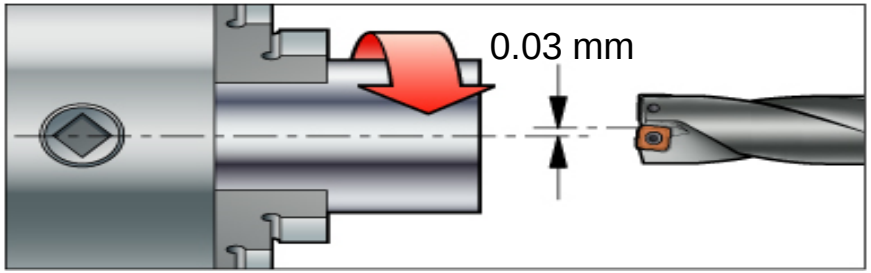




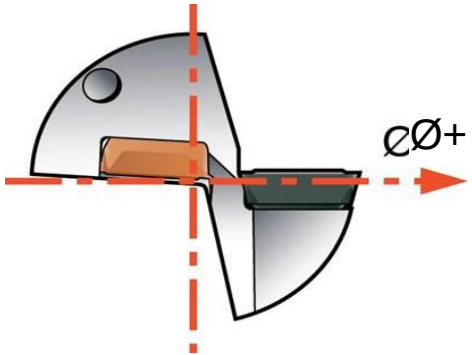
- ไม่มีสเกลบอกความละเอียด
- ในหนึ่งจุด จะปรับเพิ่มหรือลดขนาดไป 0.10 mm
- ช่วงของการปรับ (diameter offset range) อยู่ที่ ±0.3 mm.

Non-rotating drill

ความร่วมศูนย์บนเครื่องกลึง



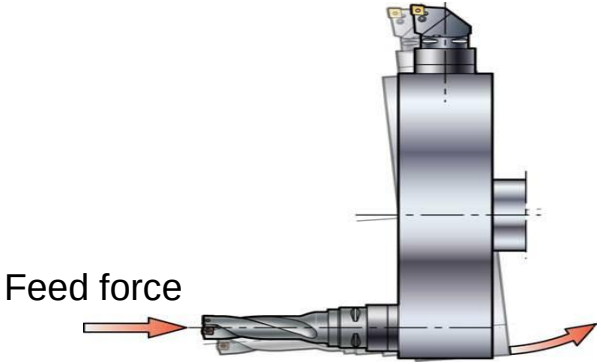
- ผลต่างสูงสุดระหว่างแนวเครื่องมือ กับศูนย์ชิ้นงานที่ยอมให้ได้ ไม่ควรเกิน 0.03 mm.

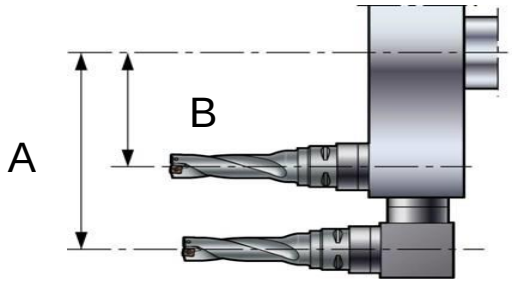


- เม็ดมีดริมควรติดตั้งให้อยู่ตำแหน่งที่ผิวบนของเม็ด ขนานไปกับแนวแกน diameter ติดบวกของชิ้นงาน (ปกติคือ แนวแกน X)

Deflection of the turret

การแก้ปัญหาการโก่งตัวของป้อมมีด

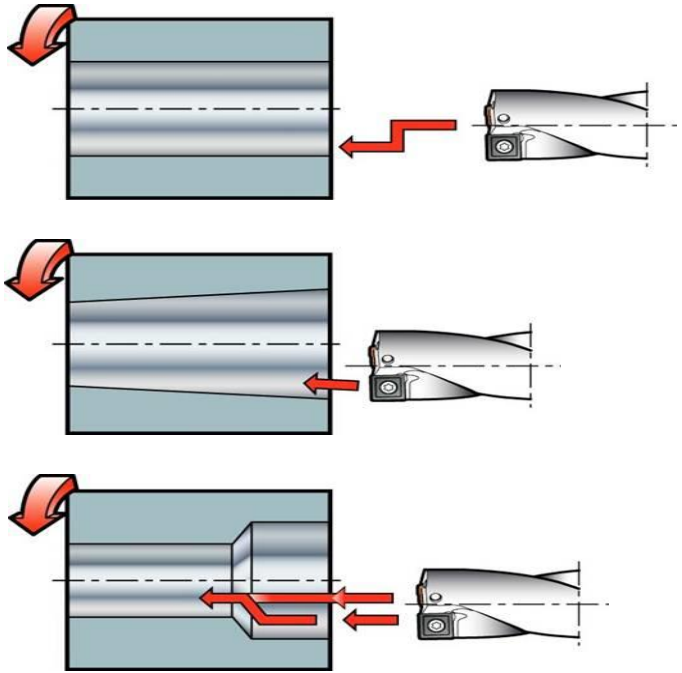




- โดยมากมักจะเกิดจาก แรงในการป้อน (feed force) ที่มากเกินไป
- สามารถเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องมือ เพื่อให้เกิดโมเมนต์น้อยลงหรือไม่
- ทำการลดอัตราป้อนลง

Radial offset

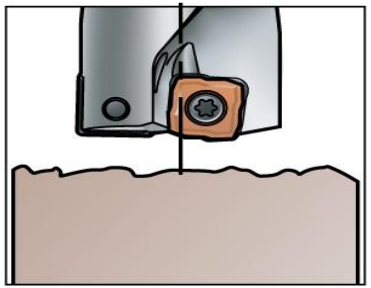
การปรับตั้งค่าในแนวรัศมี

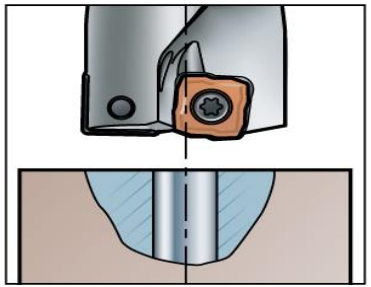


- สามารถใช้เป็นเหมือนเครื่องมือคว้านได้
- สามารถทำรูที่เป็นเทเปอร์ได้
- สามารถทำรูที่เป็น chamfer ได้

Irregular surfaces and pre-drilled holes

การเจาะบนผิวขรุขระ และผิวที่มีรูนำอยู่ก่อน

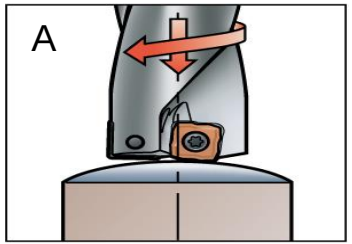




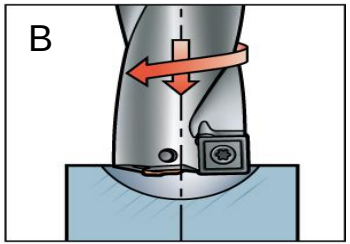
- การเจาะบนผิวประเภทนี้ มักก่อให้เกิดการบิ่นกะเทาะของเม็ดมีด (inserts chipping)
- ควรลดอัตราป้อนลงครึ่งหนึ่ง หรือ เหลือแค่หนึ่งในสาม
- รูนำที่มีควรจะมีขนาดเล็ก ถ้าให้เหมาะสมไม่ควรเกิน 25% ของขนาดดอกสว่าน เพื่อป้องกันการสะบัดของดอกขณะทำงาน
- การลดอัตราป้อนลงเล็กน้อย ก็จะช่วยสนับสนุนการทำงานในลักษณะนี้เช่นกัน

Entering non flat surfaces

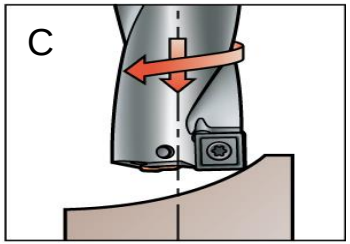
การเจาะบนผิวที่ไม่เรียบ



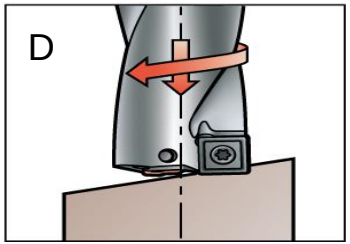
f_n



f_n 1/3



f_n ¾ to 1/3



f_n 1/3

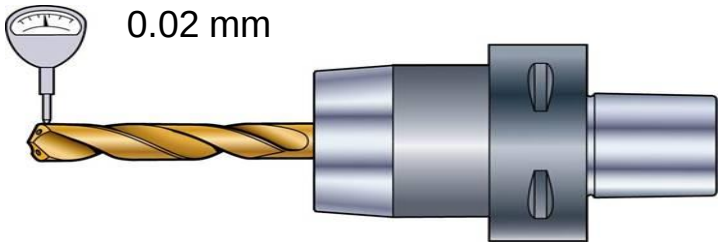
มีโอกาสสูงที่จะเกิดการสะบัด หรือโก่งตัวของดอกสว่าน จึงแนะนำให้ทำการลดอัตราป้อนลง

A. ผิวนูน (Convex surface)	ไม่ต้องลดอัตราป้อน
B. ผิวเว้า (Concave surface)	ลดอัตราป้อนลง 1/3
C. ผิวเว้า (Inclined surface)	ลดอัตราป้อนลง ¾ ถึง 1/3
D. ผิวเอียง (Curved surface)	ลดอัตราป้อนลง 1/3

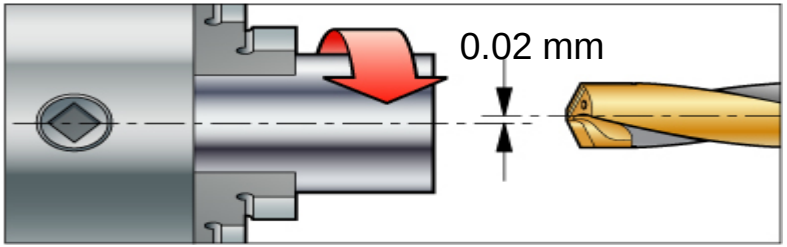
Recommendations for solid carbide drills

ค่าการแกว่งของเครื่องมือ

Rotating drill



Stationary drill



- เมื่อ run out ขณะทำงานมีค่ามากเกินไปจะส่งผลให้เกิด
  - การสึกที่ไม่เท่ากันของคมตัด บนเม็ดมีดริม
  - การส่ายของเครื่องมือขณะเข้างาน ทำให้ได้รูที่ไม่กลมสนิท
  - ความเที่ยงตรงของรู (tolerance) สูญเสียไป
  - สว่านจะหักได้ง่าย บริเวณโคนของดอก

Solid carbide and exchangeable tip drill

Solid carbide drills

- Not recommended due to risk of chipping on the cutting edge

Exchangeable-tip drill

- Not possible to enlarge existing holes by counter-boring because no chip breaking will take place

Coolant supply

น้ำหล่อเย็น

- น้ำภายใน (Internal coolant supply)

  เมื่อทำการเจาะวัสดุที่ให้เศษยาว และมีความลึกพอประมาณ (4-5xD)

- น้ำภายนอก (External coolant supply)

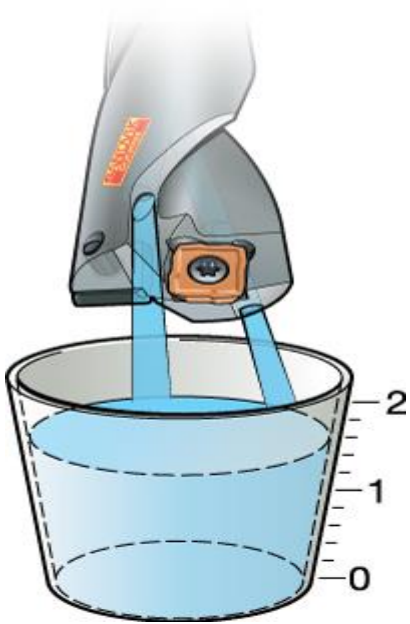
  เมื่อการลำเลียงเศษออกจารูทำได้เพียงพอ และรูไม่ลึกจนเกินไป

- ลมอัด (Compressed air)

  โดยปกติไม่แนะนำ ใช้วิธีนี้เมื่อจำเป็นเท่านั้น

การหล่อเย็นด้วยสารชนิดต่างๆ

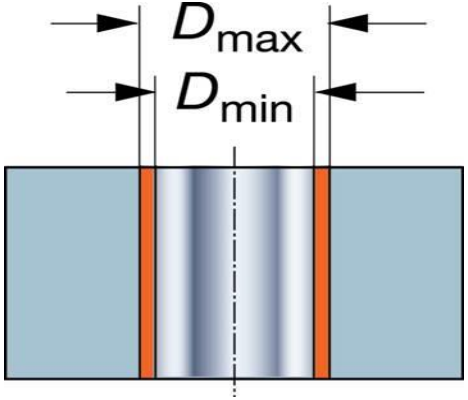
The cutting fluid



- สารหล่อเย็นผสมน้ำ (emulsion)
  - 5 -12% oil (สหรับสแตนเลสแนะนำให้ใช้ที่ 10 - 25%)
  - มีสาร EP (extreme pressure) เพื่อรองรับแรงในการตัดเฉือน
- น้ำมันล้วน (Neat oil)
  - มักใช้กับสแตนเลส
  - เมื่อต้องการความลื่นในการระบายเศษ และคุณภาพผิวที่สูง
- ละอองน้ำมัน (MQL)
  - มักใช้ได้ดีที่ความเร็วตัดสูง
- ตัดแห้ง (Dry drilling)
  - สำหรับวัสดุเศษสั้นเท่านั้น
  - ความลึกไม่เกินสามเท่าของขนาดเครื่องมือ
  - ใช้กับเครื่องในแนวนอน
  - อายุเครื่องมืออาจลดลงอย่างมาก

Hole tolerances acc. to ISO

ค่าพิกัดของรูในมาตรฐานสากล



ผลต่างระหว่าง D_{max} กับ D_{min} คือ tolerance width ที่เรียกว่า IT

D_{max} minus D_{min} is the tolerance width also called e.g. IT 7

Hole tolerances acc. to ISO

ค่าพิกัดรูในมาตรฐาน IT

Tool width	Diameter range (mm)				
	D>3-6	D>6-10	D>10-18	D>18-30	D>30-50
IT6	0.008	0.009	0.011	0.013	0.016
IT7	0.012	0.015	0.018	0.021	0.025
IT8	0.018	0.022	0.027	0.033	0.039
IT9	0.030	0.036	0.043	0.052	0.062
IT10	0.048	0.058	0.070	0.084	0.100
IT11	0.075	0.090	0.110	0.130	0.160
IT12	0.120	0.150	0.180	0.210	0.250
IT13	0.180	0.220	0.270	0.330	0.390

Examples

Bearings

Holes for threading with fluteless taps (rolled threads)

Normal tap holes

- เลขบอก IT-number ที่น้อยลง หมายถึงช่วงของ tolerance ที่แคบขึ้น
- Tolerance ของ IT-class ใดๆ จะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดรูเพิ่มมากขึ้น

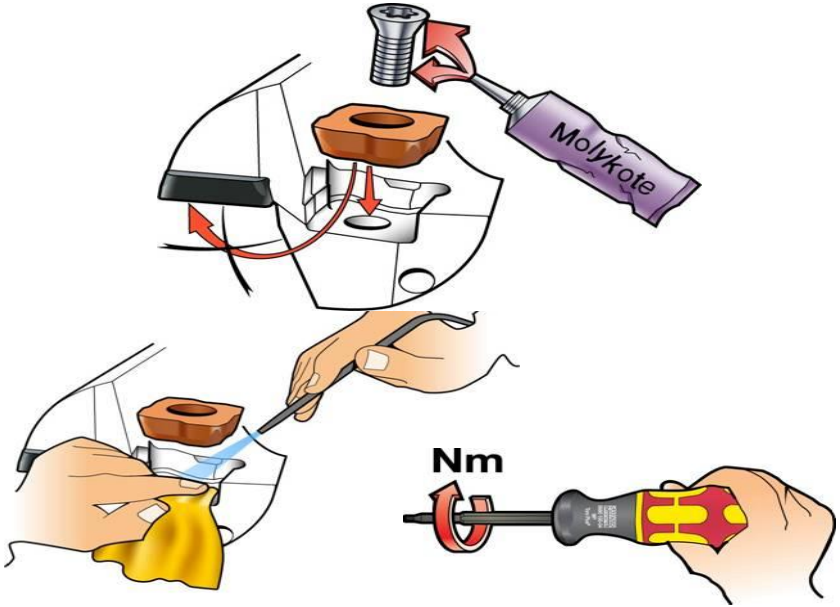
Hole and tool tolerances – summary

ค่าพิกัดของรู ที่ได้จากดอกสว่านประเภทต่างๆ

	Solid Carbide CoroDrill		Exchangeable Tip Drill®	Indexable insert drill
	CoroDrill 460	CoroDrill 860	CoroDrill 870	CoroDrill 880
IT6				
IT7				
IT8				
IT9				With pre-setting
IT10				
IT11				
IT12				
IT13				

Initial application check-points

การประกอบเม็ดมีด



คำแนะนำในการประกอบเม็ดมีด

- เปลี่ยนสกรูยึดเม็ดมีดเมื่อเกิดความเสียหาย
- หมั่นทำความสะอาดบริเวณบ่านั่งเม็ดมีด
- ใช้ Molykote ทาบนสกรูก่อนประกอบ
- ควรใช้ประแจทอร์ค สำหรับสกรูขนาดเล็กๆ