[Technical Data] [ข้อมูลทางเทคนิค]
Proper Bolt Axial Tightening Force / Torque (แรงขันอัดตามแนวแกนและแรงขันที่เหมาะสมของโบลท์)

แรงอัดตามแนวแกนและขีดจำกัดความล้า

- ขนาดแรงอัดตามแนวแกนที่เหมาะสมในการขันเกลียวโบลท์ ภายในช่วงความยืดหยุ่นถึง 70% ของค่าความเค้นสูงสุด (yield strength)
- ความแข็งแรงความล้าที่เกิดขึ้นในโบลท์ เนื่องจากการได้รับแรงกดต่อเนื่องไม่ควรเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้
- อย่าขันเกลียวโบลท์ให้จมเกินระดับผิวรูที่เจาะไว้สำหรับโบลท์และน็อต
- อย่าใช้วิธีขันเกลียวแน่นเกินไปจนเกลียวขาด

วิธีการขันโบลท์ให้แน่นมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีใช้ประแจมาตรฐาน วิธีขันเกลียวเพื่อควบคุมจุดคราก และวิธีอื่นๆ การขันโบลท์ โดยทั่วไปใช้วิธีง่ายๆ ตามความเหมาะสม

การคำนวณแรงตามแนวแกนและแรงขันเกลียว

ความสัมพันธ์ของแรงตามแนวแกน Ff ดังแสดงในสมการ (1)

$Ff=0.7\times\sigma y\times As$······(1)

หาค่าแรงบิดขันเกลียวให้แน่น TfA จากสมการ (2) ด้านล่าง

$TfA=0.35k(1+1/Q)\sigma y\cdot As\cdot d$······(2)

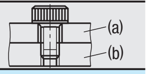
k : สัมประสิทธิ์แรงบิด
d : เส้นผ่าศูนย์กลางของโบลท์ [cm]
Q : สัมประสิทธิ์การขันเกลียว
σy : ความเค้นแรงดึง (112kgf/mm² เมื่อระดับ (class) ความเค้นแรงดึงคือ 12.9
As : พื้นที่หน้าตัดที่ใช้งานได้ของโบลท์ [mm²]

ตัวอย่าง

หาแรงบิดที่เหมาะสม และแรงขันอัดตามแนวแกนที่ใช้ในการขันแผ่นเหล็กเหนียวให้แน่นด้วยสกรูหกเหลี่ยมหัวจม M6 (ระดับความแข็ง 12.9) ในสภาพที่ใช้น้ำมันหล่อลื่น

- จากสมการ (2) แรงบิดที่เหมาะสมเท่ากับ :
  $T_{fA}=0.35k\,(1+1/Q)\,\sigma y\cdot As\cdot d$
  $=0.35\cdot 0.17\,(1+1/1.4)\,112\cdot 20.1\cdot 0.6$
  $=138$ [kgf · cm]
- จากสมการ (1) แรงขันอัดตามแนวแกน Ff เท่ากับ :
  $Ff=0.7\times\sigma y\times As$
  $0.7\times 112\times 20.1$
  1576[kgf]

กรรมวิธีการชุบผิวโบลท์ และสัมประสิทธิ์แรงบิดขึ้นอยู่กับวัสดุทั้งสองชิ้นที่ยึดติดกันและวัสดุของเกลียวใน

Bolt Surface Treatment Lubrication	Torque Coefficient k	Combination of material for area to be fastened and material for female thread (a) (b) 
โบลท์ เหล็กเหนียว รมดำ	0.145	SCM–FC FC–FC SUS–FC
	0.155	S10C–FC SCM–S10C SCM–SCM FC–S10C FC–SCM
	0.165	SCM–SUS FC–SUS AL–FC SUS–S10C SUS–SCM SUS–SUS
	0.175	S10C–S10C S10C–SCM S10C–SUS AL–S10C AL–SCM
	0.185	SCM–AL FC–AL AL–SUS
	0.195	S10C–AL SUS–AL
	0.215	AL–AL
โบลท์ เหล็กเหนียว รมดำ	0.25	S10C–FC SCM–FC FC–FC
	0.35	S10C–SCM SCM–SCM FC–S10C FC–SCM AL–FC
	0.45	S10C–S10C SCM–S10C AL–S10C AL–SCM
	0.55	SCM–AL FC–AL AL–AL

S10C : เหล็กเหนียวไม่ผ่านการอบคลาย SCM : เหล็กเหนียวผ่านการอบคลาย (35HRC) FC : เหล็กหล่อ (FC200) AL : อะลูมิเนียม SUS : สเตนเลส (SUS304)

ค่ามาตรฐานของสัมประสิทธิ์การขันเกลียว Q

Tightening Coefficient Q	Tightening Method	Surface Condition: Bolts	Surface Condition: Nuts	Lubrication
1.25	ประแจปอนด์	แมงกานีสฟอสเฟต	ไม่ผ่านการชุบผิว หรือชุบผิวด้วย ฟอสเฟต	หล่อลื่นด้วย น้ำมัน หรือ MoS2 เพสต์
1.4	ประแจปอนด์	ไม่ผ่านการชุบผิว หรือชุบผิวด้วย ฟอสเฟต		
	ประแจปรับกำลังแรงบิด			
1.6	ประแจแบบหมุนกระแทก			
1.8	ประแจปรับกำลังแรงบิด	ไม่ผ่านการชุบผิว หรือชุบผิวด้วย ฟอสเฟต	ไม่ผ่านการชุบผิว	ไม่ใช้สารหล่อลื่น

รูปแบบทั่วไปในการแสดงระดับความแข็งแรง (Strength Class)

ตัวอย่าง 12.9
- ความเค้นแรงดึง (ความเค้นคราก) : 90% ของค่าต่ำสุดของความเค้นแรงดึง
- ค่าต่ำสุดของความเค้นแรงดึงเท่ากับ 1220N/mm² {124kgf/mm²}

10.9
- ความเค้นแรงดึง (ความเค้นคราก) : 90% ของค่าต่ำสุดของความเค้นแรงดึง
- ค่าต่ำสุดของความเค้นแรงดึงเท่ากับ 1.040N/mm² {106kgf/mm²}

แรงในการแคลมป์เริ่มต้นและแรงขันเกลียว

Nominal of Thread	Effective Sectional Area As mm²	12.9 Yield Load kgf	12.9 Initial Tightening Force kgf	12.9 Tightening Torque kgf · cm	10.9 Yield Load kgf	10.9 Initial Tightening Force kgf	10.9 Tightening Torque kgf · cm	8.8 Yield Load kgf	8.8 Initial Tightening Force kgf	8.8 Tightening Torque kgf · cm
M 3×0.5	5.03	563	394	17	482	338	15	328	230	10
M 4×0.7	8.78	983	688	40	842	589	34	573	401	23
M 5×0.8	14.2	1590	1113	81	1362	953	69	927	649	47
M 6×1	20.1	2251	1576	138	1928	1349	118	1313	919	80
M 8×1.25	36.6	4099	2869	334	3510	2457	286	2390	1673	195
M10×1.5	58	6496	4547	663	5562	3894	567	3787	2651	386
M12×1.75	84.3	9442	6609	1160	8084	5659	990	5505	3853	674
M14×2	115	12880	9016	1840	11029	7720	1580	7510	5257	1070
M16×2	157	17584	12039	2870	15056	10539	2460	10252	7176	1670
M18×2.5	192	21504	15053	3950	18413	12889	3380	12922	9045	2370
M20×2.5	245	27440	19208	5600	23496	16447	4790	16489	11542	3360
M22×2.5	303	33936	23755	7620	29058	20340	6520	20392	14274	4580
M24×3	353	39536	27675	9680	33853	23697	8290	23757	16630	5820

(หมายเหตุ)
- สภาพในการขันเกลียว : ใช้ประแจปอนด์ (ใช้น้ำมันหล่อลื่นผิว สัมประสิทธิ์แรงบิด k=0.17 สัมประสิทธิ์การขันเกลียว Q=1.4)
- ใช้ตารางนี้เป็นค่าอ้างอิง สัมประสิทธิ์แรงบิดจะแตกต่างกันไปตามสภาพการใช้งาน
- ตารางนี้เป็นข้อมูลที่ตัดทอนและปรับปรุงมาจากแค็ตตาล็อกของบริษัท Kyokuto Seisaksho

[Technical Data] [ข้อมูลทางเทคนิค]
Strength of Bolts, Screw and Dowel Pins (ความแข็งแรงของโบลท์, สกรู และสลักอัด)

ความแข็งแรงของโบลท์

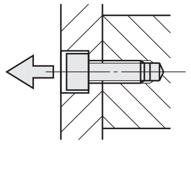
1) เมื่อโบลท์รับแรงดึง

$Pt=\sigma t\times As$············ (1)
$=\pi d^2\sigma t/4$········· (2)

Pt : แรงดึงในทิศทางตามแนวแกน [kgf]
σb : ความเค้นครากของโบลท์ [kgf/mm²]
σt : ความเค้นที่ยอมรับได้ของโบลท์ [kgf/mm²]
($\sigma t=\sigma b$/แฟ็กเตอร์ความปลอดภัย α)
As : พื้นที่หน้าตัดที่ใช้งานได้ของโบลท์ [mm²]
d : เส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้คำนวณของโบลท์ (เส้นผ่าศูนย์กลางแกน) [mm]

(ตัวอย่าง) หาขนาดที่เหมาะสม เมื่อสกรูหกเหลี่ยมหัวจมต้องรับแรงเค้นดึง P=200kgf ซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง (เป็นจังหวะ) (วัสดุของสกรูหกเหลี่ยมหัวจม : SCM435, 38~43HRC, ระดับความแข็ง : 12.9)

จากสมการ (1)
$As=Pt/\sigma t$
$=200/22.4$
$=8.9$ [mm2]



∴ หาพื้นที่หน้าตัดที่ใช้งานได้ที่มากกว่าค่านี้ได้จากตารางด้านขวา
M5 ที่มีขนาด 14.2 (mm²) จะเป็นตัวเลือก
หากพิจารณาในด้านความล้า ก็ควรเลือก M6 ซึ่งสามารถรับแรงดึงที่ยอมรับได้ 213kgf ในระดับความแข็ง 12.9

2) การเลือกต้องคำนึงถึงความล้าของโบลท์ ดังเช่น สตริปเปอร์โบลท์ที่รับแรงตกกระทบจากแรงดึง (ดังตัวอย่างข้างต้น มีแรงดึงกระทำขนาด 200kgf วัสดุของสตริปเปอร์โบลท์ : SCM435, 33~38HRC, ในระดับความแข็ง : 10.9)

จากตารางด้านขวา เมื่อค่าแรงดึงที่ยอมรับได้ในระดับความแข็ง 10.9 สูงกว่า 200kgf ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น M8 และเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวแกนเท่ากับ 10 mm ให้ใช้โดเวลพิน เมื่อมีการใช้แรงเฉือน

Safety Factor α of Unwin Based on Tensile Strength

Materials	Static Load	Repeated Load: Pulsating	Repeated Load: Reversed	Impact Load
เหล็กเหนียว	3	5	8	12
เหล็กหล่อ	4	6	10	15
ทอดแดง, โลหะอ่อน	5	5	9	15

ค่าความเค้นที่ยอมรับได้ = ค่าความเค้นอ้างอิง / ค่าแฟ็กเตอร์ความปลอดภัย

ค่าความเค้นอ้างอิง : ความเค้นครากสำหรับวัสดุเหนียว
ความเค้นแตกร้าวสำหรับวัสดุเปราะ

ความเค้นครากที่ระดับความแข็ง 12.9 เท่ากับ $\sigma b=112$[kgf/mm²]
ค่าความเค้นที่ยอมรับได้ $\sigma t=\sigma b$/แฟ็กเตอร์ความปลอดภัย (แฟ็กเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 5 จากตารางด้านบน)
$=112/5$
$=22.4$[kgf/mm2]

ความล้าของโบลท์ (ในกรณีของสกรู : ความล้าคิดที่ 2 ล้านครั้ง)

Nominal of Thread	Effective Sectional Area As mm²	12.9 Fatigue Strength* kgf/mm²	12.9 Allowable Load kgf	10.9 Fatigue Strength* kgf/mm²	10.9 Allowable Load kgf
M 4	8.78	13.1	114	9.1	79
M 5	14.2	11.3	160	7.8	111
M 6	20.1	10.6	213	7.4	149
M 8	36.6	8.9	326	8.7	318
M10	58	7.4	429	7.3	423
M12	84.3	6.7	565	6.5	548
M14	115	6.1	702	6	690
M16	157	5.8	911	5.7	895
M20	245	5.2	1274	5.1	1250
M24	353	4.7	1659	4.7	1659

ความล้า* ตัดทอนจาก "ค่าโดยประมาณของขีดจำกัดความล้าของเกลียวเมตริกของสกรูเครื่องจักร โบลท์ และน็อต" (โดย Yamamoto)

ความแข็งแรงของสกรูตัวหนอน

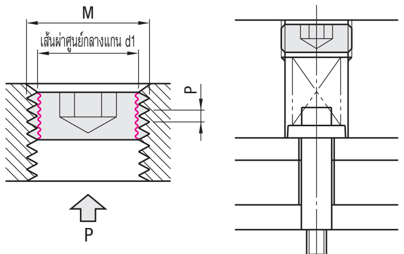
หาค่าแรงดึงที่ยอมรับได้ P เมื่อสกรูตัวหนอน MSW30 ได้รับแรงตกกระทบ
(วัสดุ MSW30 : S45C, 34-43 HRC, ความเค้นแรงดึง σt 65 kgf/mm²)

หาก MSW ฉีกขาดจากการใช้แรงเฉือนตรงส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางแกน แรงดึงที่ยอมรับได้จะหาได้ดังนี้

$P=\pi t\times A$
$=3.9\times 107.4$
$=4190$[kgf]

หาค่าแรงเฉือนที่ยอมรับได้จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแกนของเกลียวภายในหากเกลียวทำด้วยวัสดุอ่อน

พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงเฉือน A=เส้นผ่าศูนย์กลางแกน $d_1\times\pi\times L$
(เส้นผ่าศูนย์กลางแกน $d_1 \fallingdotseq M-P$)
$A=(M-P)\,\pi L=(30-1.5)\,\pi\times 12$
$=1074$ [mm²]
ความเค้นคราก ≒ 0.9×ความต้านทานแรงดึง $\sigma b=0.9\times 65=58.2$
แรงเฉือน ≒ 0.8×ความเค้นคราก
$=46.6$
แรงเฉือนที่ยอมรับได้ πt=แรงเฉือน/แฟ็กเตอร์ความปลอดภัย12
$=46.6/12=3.9$ [kgf/mm²]



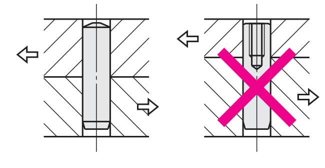
ความแข็งแรงของสลักอัด

หาขนาดที่เหมาะสม เมื่อสลักอัดได้รับแรงเฉือนขนาด 800kgf ซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง (เป็นจังหวะ)
(วัสดุของสลักอัด : SUJ2 ความแข็ง 58HRC หรือมากกว่า)

$P=A\times\tau$
$=\pi D^2\tau/4$
$D=\sqrt{(4P)/(\pi\tau)}$
$=\sqrt{(4\times 800)/(3.14\times 19.2)}$
$\fallingdotseq 7.3$

σb สำหรับความเค้นครากของ =120 [kgf/mm²]
ความต้านทานแรงเฉือนที่ยอมรับได้ $\tau=\sigma b\times 0.8$/แฟ็กเตอร์ความปลอดภัย α
$=120\times 0.8/5$
$=19.2$ [kgf/mm²]

∴ สำหรับสลักอัด MS เลือกขนาด D8 หรือใหญ่กว่า
เมื่อใช้โดเวลพินที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถลดจำนวนเครื่องมือและสต็อคได้



หลีกเลี่ยงการใช้สลักอัดลักษณะที่ปล่อยให้มีแรงกดมากระทำ

การคำนวณต่างๆ ข้างต้นเป็นเพียงตัวอย่างของการหาค่าความแข็ง สำหรับการคำนวณในการใช้งานจริงนั้น ควรพิจารณาถึงสภาพการใช้งานที่แตกต่าง เช่น ความเที่ยงตรงของพิทช์ที่อยู่ระหว่างรู, ความได้ฉากของรูต่างๆ, ความเรียบผิว, ความกลม, วัสดุที่ทำเพลท, ความขนานกัน, การเควนช์ชิ่ง, ความแม่นยำของเครื่องปั๊ม, ปริมาณการผลิต และความสึกหรอของเครื่องมือต่างๆ ใช้ตัวอย่างข้างต้นเป็นเพียงวิธีอ้างอิงในการคำนวณหาค่าความแข็ง (ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่ผ่านการรับรอง)