

■Axialanzugskraft für Schrauben und Ermüdungsgrenze

- Die axiale Anzugskraft für eine Schraube sollte 70% der Nenn-Dehngrenze nicht überschreiten, wenn die Anzugsmomentmethode verwendet wird.
- Die Ermüdungsgrenze einer Schraube unter Dauerschwingbelastung darf die vorgeschriebene Toleranz nicht überschreiten.
- Der Sitz einer Schraube oder Mutter darf den Kontaktbereich nicht berühren.
- Das Zusammengeschräubte Teil darf nicht durch das Festziehen brechen.

Bei Schrauben erfolgt das Anziehen üblicherweise drehmomentgesteuert, drehwinkelgesteuert oder streckgrenzgesteuert. Aufgrund ihrer einfachen und praktischen Anwendung wird die Drehmomentmethode bevorzugt.

■Berechnung der axialen Anzugskraft und des Anzugsmoments

Die nachfolgende Formel (1) beschreibt den Zusammenhang

zwischen der axialen Anzugskraft und Ff:

$$F_f = 0.7 \times \sigma_y \times A_s \dots (1)$$

Das Anzugsmoment T_{IA} ergibt sich aus folgender Formel (2).

$$T_{IA} = 0.35k(1 + 1/Q) \sigma_y \cdot A_s \cdot d \dots (2)$$

k : Drehmomentkoeffizient

d : Nenn-Ø der Schraube [cm]

Q : Anzugskoeffizient

σ_y : Zugfestigkeit (Bei Festigkeitsklasse 12.9 = 112kgf/mm²)

A_s : Effektive Querschnittsfläche der Schraube²⁾

■Berechnungsbeispiel

Ermittlung des Anzugsmoments und der Anzugskraft für Baustahlwerkstücke mit

Sechskantschraube M6 (Festigkeitsklasse 12.9). Alle Teile ölgeschmiert.

· Anzugsmoment mit Formel (2)

$$T_{IA} = 0.35k(1 + 1/Q) \sigma_y \cdot A_s \cdot d$$

$$= 0.35 \cdot 0.17(1 + 1/1.4) 112 \cdot 20.1 \cdot 0.6$$

$$= 138 \text{ [kgf} \cdot \text{cm]}$$

· Axialkraft F_f mit Gleichung (1)

$$F_f = 0.7 \times \sigma_y \times A_s$$

$$0.7 \times 112 \times 20.1$$

$$1576 \text{ [kgf]}$$

■Oberflächenbehandlung der Schrauben und Drehmomentkoeffizient je nach Werkstoffkombination für den anziehenden Bereich und Werkstoff des Innengewindes

Oberflächenbehandlung/Schmierung	Drehmomentkoeffizient k	Kombination aus dem Werkstoff für den anziehenden Bereich und dem Werkstoff des Innengewindes (a) (b)
Stahlschraube brüniert Film-Ölschmierung	0.145	SCM-FC FC-FC SUS-FC
	0.155	1.0301/10C-FC SCM-1.0301/10C SCM-SCM FC-1.0301/10C FC-SCM
	0.165	SCM-SUS FC-SUS AL-FC SUS-S10C SUS-SCM SUS-SUS
	0.175	1.0301/10C-1.0301/10C 1.0301/10C-SCM 1.0301/10C-SUS AL-1.0301/10C AL-SCM
	0.185	SCM-AL FC-AL AL-SUS
	0.195	1.0301/10C-AL SUS-AL
Stahlschraube brüniert Film ungeschmiert	0.215	AL-AL
	0.25	1.0301/10C-FC SCM-FC FC-FC
	0.35	1.0301/10C-SCM SCM-SCM FC-1.0301/10C FC-SCM AL-FC
	0.45	1.0301/10C-1.0301/10C SCM-1.0301/10C AL-1.0301/10C AL-SCM
	0.55	SCM-AL FC-AL AL-AL

1.0301/10C: Unleg. Baust. nicht gehärtet; SCM: wärmebehandelter Stahl (35HRC) FC: Gusseisen (EN JL-1030/EN-GJL-200 (GG-20)) AL: Aluminium; SUS: Edelstahl

■Anfängliche Anzugskraft und Anzugsmoment

Nenngröße des Gewindes	Effektiver Querschnitt A _s mm ²	Festigkeitsklasse								
		12.9			10.9			8.8		
		Strecklast	Anfängliche Anzugskraft	Anzugsmoment	Strecklast	Anfängliche Anzugskraft	Anzugsmoment	Strecklast	Anfängliche Anzugskraft	Anzugsmoment
		kgf	kgf	kgf · cm	kgf	kgf	kgf · cm	kgf	kgf	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

(Hinweis) · Anzugsbedingungen: Verwenden Sie einen Drehmomentschlüssel (geschmiert mit Öl, Drehmomentkoeffizient k = 0.17, Anzugskoeffizient Q = 1.4)

· Der Drehmomentkoeffizient hängt von den Einsatzbedingungen ab Die Werte in dieser Tabelle sollten als grobe Referenzwerte verwendet werden.

· Die Tabelle ist ein Auszug aus einem Katalog der Kyokuto Seisakusho Co., Ltd.

■Festigkeit von Schrauben

1) Zugkraftschraube

$$P = \sigma_t \times A_s \dots (1)$$

$$= \pi d^2 \sigma_t / 4 \dots (2)$$

P_t : Zugkraft in Axialrichtung [kgf]
σ_b : Dehngrenze der Schraube [kgf/mm²]
σ_t : Zulässige Belastung der Schraube [kgf/mm²]
(σ_t = σ_b/Sicherheitsfaktor α)
A_s : Effektive Querschnittsfläche der Schraube [mm²]
A_s = πd²/4
d : Effektiver Durchmesser der Schraube (Kern-Ø) [mm]

(Bsp.) Die richtige Größe einer Sechskantschraube, die einer wiederholten Zugbelastung (pulsierend) von P = 200 kgf ausgesetzt ist, soll bestimmt werden. (Schraube aus 1.7220/34CrMo4, 38 bis 43 HRC, Festigkeitsklasse 12.9)

(1) Verwendung von Gleichung

$$A_s = P_t / \sigma_t$$

$$= 200 / 22.4$$

$$= 8.9 \text{ [mm}^2\text{]}$$

· In der Tabelle rechts muss eine größere effektive Querschnittsfläche gewählt werden, als obiger berechneter Wert.

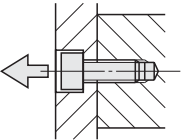
M5, 14.2[mm²] ist auszuwählen

M6 mit zulässiger Last von 213 kgf ist dann aus der Spalte der

Festigkeitsklasse 12.9 zu wählen, wobei die Ermüdungsfestigkeit berücksichtigt wird.

2) Wenn die Schraube wie eine Passschraube einer Zug-/Stoßbelastung ausgesetzt ist, ist die richtige Größe aus der Spalte Ermüdungsfestigkeit zu wählen. (Bei einer Last von 200 kgf, Passschraube aus 1.7220/34 Cr Mo4, 33 bis 38 HRC, Festigkeitsklasse 10.9) Beträgt die zulässige Last 200 kgf oder mehr, ist die Festigkeitsklasse 10.9, M8, 318 [kgf] rechts aus der Tabelle zu wählen. Folglich ist MSB10 mit einem M8 Gewinde und einem axialen Durchmesser von 10 mm zu wählen.

Wenn eine Scherlast zu tragen ist, ist auch ein Zylinderstift zu verwenden.



■Festigkeit von Verschlusschrauben

Die zulässige Last P für eine Verschlusschraube MSW30, die einer Stoßlast ausgesetzt ist, ist zu bestimmen.

(MSW30 aus 1.1191/C45E, Zugkraft, 34 bis 43 HRC, Zugfestigkeit σ_t 65kgf/mm².)

Wenn MWS im Bereich des Mutterkerndurchmesser-Querschnitts an einem Punkt abgespreizt und gebrochen ist, kann die zulässige Last P wie unten gezeigt berechnet werden.

Zulässige Last P = τ × A

$$= 3.9 \times 107.4$$

$$= 4190 \text{ [kgf]}$$

Ermitteln Sie die zulässige Scherkraft basierend auf dem Kern-Ø des Innengewindes, wenn das Gewinde aus einem weichen Werkstoff besteht.

Fläche A_{Kern-Ø} d₁ × π × L
(Kern-Ø d₁ = M - P)
$$A = (M - P) \pi L = (30 - 1.5) \pi \times 12$$

$$= 1074 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Dehngrenze ≈ 0.9 × Zugfestigkeit σ_b = 0.9 × 65 = 58.2
Scherspannung = 0.8 × Dehngrenze
= 46.6
Zulässige Scherspannung τ_t = Scherspannung/Sicherheitsfaktor 12
= 46.6/12 = 3.9 [kgf/mm²]

■Festigkeit von Zylinderstiften

Die richtige Größe eines Zylinderstifts unter wiederholter Scherlast von 800 kgf (pulsierend)

ist zu bestimmen. (Zylinderstift aus SUJ2, 58HRC oder höher.)

$$P = A \times \tau$$

$$= \pi D^2 \tau / 4$$

$$D = \sqrt{(4P) / (\pi \tau)}$$

$$= \sqrt{(4 \times 800) / (3.14 \times 19.2)}$$

$$\approx 7.3$$

· Für MS ist D8 oder eine größere Größe zu wählen.

Wenn die Zylinderstifte eine gleichmäßige Größe haben, sind weniger Werkzeuge und Zylinderstiftvarianten

Dehngrenze für SUJ2 σ_b = 120 [kgf/mm²]
Zulässige Scherfestigkeit τ = σ_b × 0.8/Sicherheitsfaktor α
= 120 × 0.8/5
= 19.2 [kgf/mm²]

■Sicherheitsfaktor α basierend auf der Zugfestigkeit

Werkstoffe	Statische Last	Dynamische Last	Stoßlast	
		schwellend	wechselnd	
Stahl	3	5	8	12
Gusseisen	4	6	10	15
Kupfer, Weichmetall	5	5	9	15

Zul. Belastung = Referenzfestigkeit / Sicherheitsfaktor α

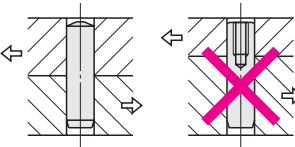
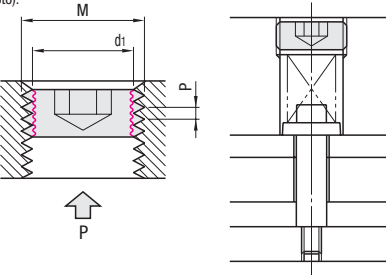
Referenzfestigkeit: Dehngrenze für duktilen Werkstoff
Bruchbelastung für brüchigen Werkstoff

Die Dehngrenze, Festigkeitsklasse 12.9, ist σ_b = 112 [kgf/mm²].
Die zulässige Belastung σ_t = σ_b/Sicherheitsfaktor (5 in der Tabelle oben)
= 112/5
= 22.4 [kgf/mm²]

■Ermüdungsfestigkeit der Schrauben
(Gewinde: Ermüdungsfestigkeit 2 Millionen Mal)

Nenn-Ø des Gewindes	Effektiver Querschnitt A _s mm ²	Festigkeitsklasse			
		12.9		10.9	
		Ermüdungsfestigkeit ¹⁾ kgf/mm ²	zulässige Last kgf	Ermüdungsfestigkeit ¹⁾ kgf/mm ²	zulässige Last 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

Ermüdungsfestigkeit τ ist eine Überarbeitung eines Auszugs aus "Estimated Fatigue Limits of Small Screws, Bolts and Metric Screws for Nuts" (Geschätzte Ermüdungsgrenzen von Schrauben und metrischen Schrauben für Muttern) (Yamamoto).



Der Zylinderstift darf nicht zusätzlich belastet sein.