

二輥交替式 疊軋薄板軋機

谷行恕編著



机械工业出版社

333.7

-1

二 輥 交 替 式 疊 軋 薄 板 軋 机

谷 行 恕 編 著



机 械 工 业 出 版 社

1 9 6 0

出版者的話

叠軋薄板的生产方式虽然比較落后，但是对高速度发展我国国民經济和貫徹两条腿走路的方針还有相当重要的意义。它特別适用于各省、市、自治区年产五万吨以下各种規格薄板的中小型企业。目前我国各地正有大批叠軋薄板軋机要投入生产。

本书叙述了二軋交替式叠軋薄板軋机的計算方法和安裝調整的基本知識，目的是使有关生产部門能正确掌握軋机的性能，为充分發揮軋机的潛力提供必要的理論基础。

本书共分八节，介紹軋机主要零件的計算和軋軋的調整，对計算中的各种复杂系数已作了選擇，并举出計算例題，特別对軋軋和机架作了比較詳細的叙述，还列举了各种框架的計算公式。可供生产部門的技工和技术人員和設計部門的技术人員参考。

NO. 3253

1960年4月第一版 1960年4月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字数 48 千字 印張 2 1/4 0,001— 3,300 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(10-7)0.33 元

目 次

一、叠轧薄板的特征和轧制过程	5
二、轧辊	10
三、轴承	21
四、压下装置	26
五、机架	36
六、轧辊的安装	58
七、辊型调整	63
八、钢板缺陷	68
参考文献	71

一、叠轧薄板的特征和轧制过程

热轧或冷轧连续薄板生产是机械化自动化生产薄板的最新形式，连续式热轧，连续式或可逆式冷轧机轧出的薄板，具有光洁的表面，精确的尺寸和较好的机械性能。但是连续薄板厂的产量高，基本建设投资大，建设时间长和工艺复杂。用连续式热轧机轧出的钢板，由于轧机各部件间的间隙和弹性变形，厚度不能小于1.5毫米，小于1.5毫米的钢板要通过冷轧来实现。因此我国目前所需要的大量的白铁皮、屋面板、电机和变压器钢板，还需要采用叠轧方法来生产。在二辊式轧机上，用交替叠轧方法来生产薄板已有悠久历史。虽然它是一种原始的薄板生产方法，由于它具有构造简单、投资少和建设快的优点，特别适合于中小型企业的发展方针。叠轧具有手工劳动的工艺特性，要在叠轧薄板轧机上实行全盘的操作机械化是有困难的。

叠轧薄板轧机的机架牌坊和其他零件的刚度，能保证轧件的最小厚度为2~2.5毫米，轧件厚度小于2毫米时必须把数块钢板重叠起来一齐轧制。叠轧钢板的块数取决于钢板的最厚厚度和重量，一般是四块到八块，重量在三十到五十公斤内，钢板的最厚厚度为0.35~1.2毫米。

叠轧薄板轧机均为下辊单独传动，上辊由下辊或轧件摩擦带动，这样既可简化传动结构又可以保证钢板质量不因上下辊线速度差而受到影响。因此轧件的可能咬入角也被限制在 6° ~ 9° 之间。

叠轧薄板的轧制速度一般限制在每秒1.2~1.8米，轧制

速度过高时轧件被轧辊咬入条件恶化，同时轧件在大的轧制速度下咬入会产生较大的冲击，对轧机主要机列的机件将有不良影响。

数块钢板叠轧时上下钢板与中部钢板冷却不一样，这将使轧件产生不同的延伸。为了使钢板延伸均匀，避免钢板间的粘結，应将轧辊预热到 $400^{\circ} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 再进行轧制。所轧钢板的精确度决定于轧辊的辊型和每叠中钢板的块数。

单辊传动的轧制过程，可设想为轧制时轧件作用于上辊上的力为一合力 P_s 之形式，作用在 A 点（图 1）。暂且忽略轴承内的摩擦阻力，如果上辊在轧制过程中是均匀的转动，合力 P_s 必须通过上辊转动中心。因为只有一切作用在辊上的力对辊子轴心的力矩和等于零时，辊子才可能均匀转动。又作用力和反作用力的大小相等方向相反，则作用在下辊上的力矩

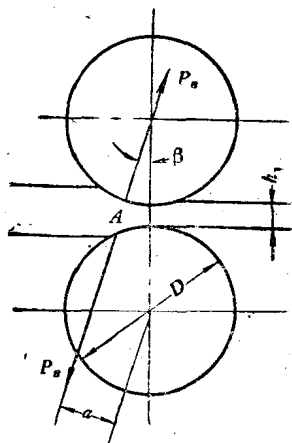


图 1

$$M = P_s a,$$

而

$$a = (D + h_1) \sin \beta,$$

以 $M_{Tp} = P_s \mu \frac{d}{2}$ 表示上辊轴颈的摩擦力矩，如果上轧辊在轧制过程中要均匀转动必须

$$P_s \mu \frac{d}{2} = P_s \rho;$$

式中 d —— 辊颈直径；

μ —— 辊颈摩擦系数；

ρ ——摩擦圓半徑。

則驅動下軋所需的力矩

$$\begin{aligned} M &= P_s a_1 + P_s \mu \frac{d}{2} \\ &= P_s a_1 + P_s \rho. \end{aligned}$$

作 $O_1 B$ 平行 P_s 力；作 $O_2 B$ 垂直 $O_1 B$ (圖 2) 則：

$$\begin{aligned} a_1 &= (D + h_1) \sin \gamma - \rho \\ &= (D + h_1) \\ &\quad \sin(\varphi + \beta) - \rho. \end{aligned}$$

以 a_1 代入力矩公式

$$\begin{aligned} M &= P_s (D + h_1) \\ &\quad \sin(\varphi + \beta); \quad (1) \end{aligned}$$

式中 β ——上軋上合力作用點 A 和上軋中心 O_1 連線與上下軋中心綫之夾角

$$\beta = \frac{1}{2} \cos^{-1} \frac{D - \Delta h}{D} \quad (2)$$

$$\Delta h = h_0 - h_1;$$

φ ——上軋中心 O_1 與 A 點連線與 P_s 力之夾角

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{2\rho}{D} = \frac{d\mu}{D}. \quad (3)$$

由於 P_s 力和軋軋中心連線成 $(\varphi + \beta)$ 角，所以在軋制過程中伴隨著軋制力產生水平分力，上軋之水平分力是順着軋制方向，下軋之水平力是反着軋制方向，兩個水平力的大小相等方向相反。水平力 X_s 為：

$$X_s = P_s \sin(\varphi + \beta). \quad (4)$$

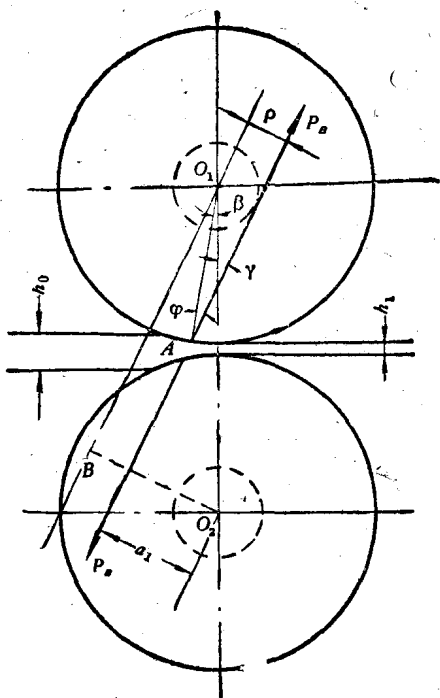


圖 2

由图 3 可見 $X_B C_2 > X_B C_1$, 水平力的作用使机架向軋制方向傾倒, 傾倒力矩:

$$M_{on} = X_B C_2 - X_B C_1 = X_B (D + h_1)。$$

以 X_B 代入上式得

$$M_{on} = P_B (D + h_1) \sin(\varphi + \beta) = M_o。$$

固定机架脚所需的力为:

$$Q_1 = \frac{M_{on}}{l} - \frac{G}{2}, \quad (5)$$

$$Q_2 = \frac{M_{on}}{l} + \frac{G}{2}; \quad (6)$$

式中 G ——軋机总重量。

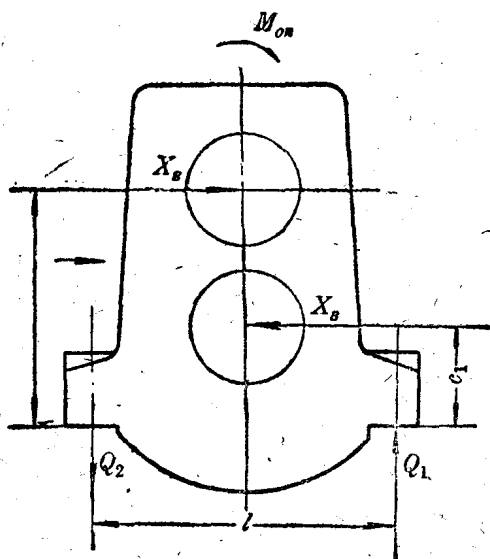


图 3

每个螺栓所受的拉力, 考虑力的分布情况应按名义拉力的 1.2~1.4 倍計算。

軋制力 P_B 的大小直接影响軋机的大小。軋制压力的计算方法很多, 这些方法都是在某些情况下比较接近实际。影响軋制压力的因素很多, 主要是: 軋制板坯的材料, 宽度, 軋制时板坯的温度, 軋制速度, 压下量, 外摩擦和軋輥直径等。

叠軋薄板通常习惯用恰古諾夫(В. А. Тягунов)的经验公式来计算軋制压力[3]。用这种方法计算的结果比实际测量的略大, 可是在实际工作中往往由于上軋輥的冲击使压力增加很多。

作用在軋輥上的压力

$$P_B = P_{cp} F; \quad (7)$$

式中 P_{cp} ——平均单位压力,

F ——軋輥与軋件的接触面积。

$$F = b_c l_c;$$

式中 b_c ——軋件平均宽度。

平均单位压力

$$P_{cp} = K_f K_r \sigma_b; \quad (8)$$

式中 K_f ——外抗力系数按А. Ф. 戈洛文公式,

$$K_f = \frac{1}{3} \left(\frac{l_c}{h_c} + 2 \right); \quad (9)$$

式中 l_c ——軋件变形区的长度, 热轧时軋子的弹性压扁影响

变形区的长度很小可以忽略 $l_c = \sqrt{R \Delta h}$,

h_c ——軋件的平均厚度

$$h_c = h_0 - \frac{\Delta h}{2},$$

h_0 ——軋制前軋件厚度(叠板应算总厚度),

K_r ——与軋件熔点和加热温度有关的温度系数。

当軋制温度 $t > t_{nA} - 575^\circ \text{C}$ 时

$$K_r = \frac{0.95 t_A - t}{1500}; \quad (10)$$

当軋制溫度 $t < t_{nA} - 575^\circ$ 时

$$K_t = \left(\frac{t_{nA} - t}{1000} \right)^2; \quad (11)$$

式中 t_{nA} ——軋件熔点溫度；

t ——軋制溫度。

$$t = t_0 - \Delta t = t_0 - \frac{t_0 - 400}{16} \frac{z}{h_0}; \quad (12)$$

式中 z ——軋制延續時間 = 机上時間 + 間隙時間；

t_0 ——前一道軋制溫度；

σ_b ——常溫時軋件之強度極限。

二 軋 輥

薄板軋機的軋輥受其特定的工作条件限制要求硬度高、耐磨、表面光洁的硬面軋輥，肖氏硬度为 58~68 度。現在几乎都用普通白口鑄鉄或合金白口鑄鉄制造，白口深度 8~35 毫米，麻口深度为白口深度的 1~2 倍，不得大于 3 倍。軋輥灰口部分的强度比白口部分大好几倍，白口过深削弱了軋輥的强度，麻口部分也有白口层所特有的柱状晶体，能使軋輥变脆。

普通白口鑄鉄的机械性能是：抗拉强度 18~22 公斤/毫米²；抗压强度 140 公斤/毫米²；彈性模数在白口部分为 14000 公斤/毫米²，非白口部分为 10500 公斤/毫米²。

加銘、加鎂和加銅的合金白口鑄鉄，对增加軋輥强度和硬度都沒有显著的效果，而每吨成品的合金消耗量却很大，在經濟上是不合算的。近来广泛采用加鎂的合金鑄鉄，由于鎂的作用使生鉄中的片状石墨球化，增加了軋輥的强度，加鎂軋輥中部的抗弯和抗拉机械性能比普通純碳素軋輥高出一倍，彈性模数高出 40%。

軋輥溫度在 450°C 以下時，對軋輥的強度無大影響，當軋溫到 600°C 時，輥子強度將降低 50%。對正常質量的普通白口鑄鐵軋輥，其允許應力在 500°C 時常取 $5\sim6$ 公斤/毫米²，加鎂軋輥可承受 $10\sim15$ 公斤/毫米²。

軋輥表面的硬度也隨軋輥加熱溫度的升高而減低，在 400°C 以下對表面硬度減小不大，在 $400^{\circ}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 範圍內硬度降低特別劇烈， 500°C 時將為原有硬度的 50%。

一般軋輥的磨損速度是這樣的：第一晝夜為凸形輥，第二、三晝夜為平輥，第四晝夜以後為凹形輥，需要車削或研磨。車削每次平均車去 $2\sim3$ 毫米，研磨每次約 $0.5\sim1.0$ 毫米。根據某工廠的資料，加工一個 $\phi 800\times 1800$ 毫米的輥子，車削一次包括裝卸約 12 小時，研磨一次約 $3.25\sim4.5$ 小時。

表 1 軋輥損壞情況

序 号	总共损坏的 輥子数目	折 断	裂 紋	磨 損	其 他
1	271	59.5%	16.8%	22.8%	1.5%
2	134	68.5%	21%	7.5%	3%
3	242	53%	30.5%	8.2%	8.3%

表 2 軋輥白口層與灰口層膨脹系數〔1〕

軋 輥 种 类	部 位	溫 度 ($^{\circ}\text{C}$)	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600
普通白口鑄鐵	白 口 層		9.55 $\times 10^{-6}$	9.2 $\times 10^{-6}$	10.3 $\times 10^{-6}$	11.35 $\times 10^{-6}$	12.2 $\times 10^{-6}$	12.85 $\times 10^{-6}$
	灰 口 層		10.8 $\times 10^{-6}$	11.4 $\times 10^{-6}$	11.7 $\times 10^{-6}$	12.5 $\times 10^{-6}$	13.4 $\times 10^{-6}$	13.6 $\times 10^{-6}$
加鎂白口鑄鐵	白 口 層		9.4 $\times 10^{-6}$	9.25 $\times 10^{-6}$	10.3 $\times 10^{-6}$	11.4 $\times 10^{-6}$	12.3 $\times 10^{-6}$	13 $\times 10^{-6}$
	灰 口 層		10 $\times 10^{-6}$	10.8 $\times 10^{-6}$	11.8 $\times 10^{-6}$	12.2 $\times 10^{-6}$	12.8 $\times 10^{-6}$	13.4 $\times 10^{-6}$

軋輥可能是因折斷、裂紋、磨損、麻點和掉皮等原因而損壞，但主要是折斷和裂紋（表1）。折斷和裂紋的原因除了軋輥上的壓力過大以外，還由於白口層與灰口層膨脹系數不一樣和軋輥斷面中溫度差異在輥身中產生熱應力，使軋輥由裂紋而致折斷。軋輥中白口層及灰口層的膨脹系數見表2。

由下面的數據可以看出溫度應力的影響。軋輥輥身表面、兩端與中間的溫度差約 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，最大達 150°C 左右，輥身中間斷面表面與心部溫度差約 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，最大達 100°C ，輥身端部斷面表面與心部溫度差約 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。〔8〕

設軋輥表面溫度 $t_{\text{表}}=400^{\circ}\text{C}$ ，膨脹系數 $\alpha_{\text{白}}=11.35\times 10^{-6}$ ，心部溫度 $t_{\text{心}}=300^{\circ}\text{C}$ ，膨脹系數 $\alpha_{\text{灰}}=11.7\times 10^{-6}$ ，則溫度應力近似為：

$$\sigma = (\varepsilon_{\text{表}} - \varepsilon_{\text{心}}) E,$$

$$\varepsilon_{\text{表}} = \alpha_{\text{白}} t_{\text{表}} = 11.35 \times 10^{-6} \times 400 = 4540 \times 10^{-6},$$

$$\varepsilon_{\text{心}} = \alpha_{\text{灰}} t_{\text{心}} = 11.7 \times 10^{-6} \times 300 = 3510 \times 10^{-6},$$

$$\sigma = (4540 - 3510) \times 10^{-6} \times 1400000 = 1442 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

除了壓力和熱應力引起軋輥折斷外，鑄造上過大的殘余應力，也是軋輥損壞的主要因素之一。為了增加軋輥的強度和減少斷輥，軋輥在鑄造後要經過3~6個月的時效，或採用人工時效。人工時效的制度可以是：

1. 以每小時 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的加熱速度加熱至 $450^{\circ}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。
2. 在 $450^{\circ}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 保溫8~10小時。
3. 以每小時 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的冷卻速度冷卻至 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，

然後在空氣中冷卻。

軋輥鑄造時是由外向內凝固，徑向應力的方向是由表面至內部（鑄造沒有軸向應力），而軋制和熱應力產生的徑向應力方

向是由内部至表面，它们应当相互平衡。当轧制和热应力过高大于铸造的残余应力时，轧辊表面产生纵向裂纹，这种裂纹使轧辊不利于工作，还不致于完全折断。

轧制和热应力产生的轴向应力使轧辊产生横向裂纹，是断辊的主要原因。

根据断辊的情况可以大致确定断辊的原因：

1. 辊颈折断

a. 新安装的轧辊，轴瓦加工粗糙、表面不光，使用时辊颈过热。

b. 辊颈过热扭断。

2. 辊颈斜裂，撕去辊身一块

a. 轧辊安装不正，机架工作时摆动。

b. 在大压下量下喂钢不正。

3. 辊颈圆角处折断

a. 圆角半径过小。

b. 轧辊圆角和轴瓦圆角相比过小，润滑不良，过热。

4. 辊身或辊颈斜裂：冲击负荷过大，产生波浪形应力。

5. 折辊折断断口整齐。

a. 轧辊过热或冷却过快（断口呈淡蓝色且垂直于轧辊中心线）。

b. 压下量过大。

c. 轧制采用宽—窄—宽轧制法，改变过于迅速。

6. 断面呈[双层性]●暗黑色，断口呈圆盘形疲劳折断。

研究断辊化学成分时，试样应在断辊边缘和轧辊半径之中

● 双层性——断口外表面细晶粒部分呈暗黑色是逐渐折断的，心部粗晶粒部分有光亮是最后一次折断的。

点各取一块，这样比较简单而且准确。

鋼板軋机的軋輥直徑要根据所軋鋼板的寬度和軋輥产生最小撓度的因素来决定。一般根据經驗公式选定，然后根据强度和剛度的計算来加以校核。薄板軋輥尺寸的合理比例，采利柯夫 (А. И. Целиков) 推荐为〔4〕(图 4)：

$$L = b_{\max} + a。$$

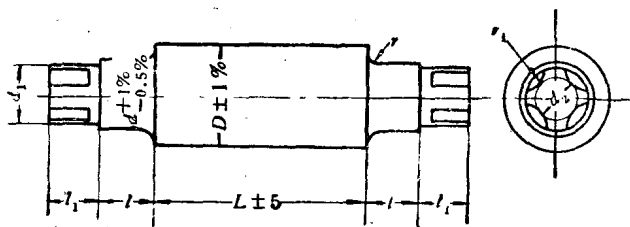


图 4

当鋼板寬度 $b = 400 \sim 1200$ 时， $a = 100$ 。

$$\frac{L}{D} = 1.3 \sim 1.5 \quad \frac{d_2}{d_1} = 0.66$$

$$\frac{d}{D} = 0.75 \sim 0.8 \quad \frac{r_1}{d_1} = 0.21$$

$$\frac{l}{d} = 0.8 \sim 1.0 \quad \frac{r}{d} = 0.1 \sim 0.125$$

$$\frac{d_1}{d} = 0.85$$

$$\frac{l_1}{d} = 0.7$$

軋輥工作表面的长度总是小于輥身的长度，由于工作部分的磨損，往往使用至一定程度后軋輥边部相互紧贴，影响鋼板延伸。有时边部还会因挤压力过大而剝落。为了避免剝落和便于直接在机架上磨修輥身表面調整輥型，常將軋輥边部削成 $5^\circ \sim 10^\circ$ 斜角，留下 3~5 毫米的輥环 (图 5)。

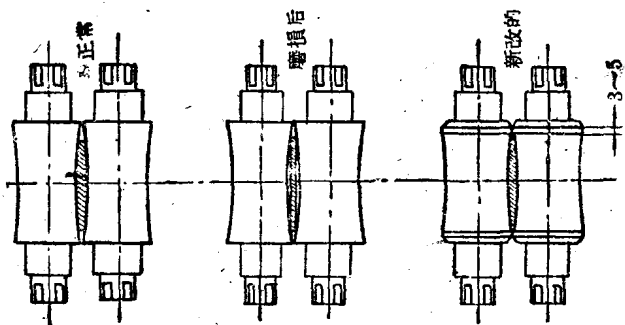


图 5

当计算轧辊时必须计算辊身、辊颈以及传送力矩的辊头。轧辊是轧机上强度最弱的零件，在一定的功率 N 下，轧辊上的垂直力 P_s 与轧制速度 v 和咬入角 α 成反比，薄板轧机的轧制速度和咬入角均小，故作用在辊上的垂直力特大：

$$P_s \div \frac{N}{v \operatorname{tg} \alpha} \delta$$

钢板轧辊的危险断面是辊身中部或辊颈上。在辊身上可以只考虑弯曲应力，因为扭应力比弯曲应力小得多，而在辊颈处须同时考虑弯曲和扭转。

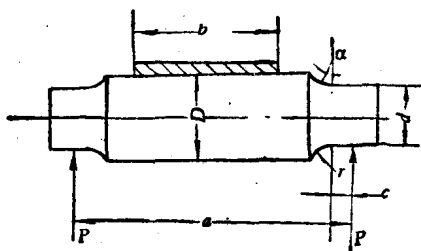


图 6

辊身的弯曲应力 (图 6)

$$\sigma = \frac{P}{0.2D^3} \left(a - \frac{b}{2} \right); \quad (13)$$

式中 a —— 压下螺杆中心距，
 P —— 作用在一片机架上之力，

b ——鋼板寬度。

軛頸處的彎曲應力通常用

$$\sigma_m = \frac{P(c+r)}{0.1d^3}。$$

這個計算彎曲應力的公式沒有考慮軛頸圓角半徑對彎曲應力的影響，實際上圓角半徑愈大彎曲應力愈小。如果取 $r = 0.1 \sim 0.125d$ ， $e = 0.5d - r$ ，則不考慮圓角半徑時的彎曲應力

$$\sigma_m = 5 \frac{P}{d^2}，$$

而考慮圓角影響比較完整的計算公式為：

$$\sigma_m = \frac{P[0.5d - 0.1d(1 - \sin \alpha)]}{0.1[d + 0.2d(1 - \cos \alpha)]^3}。$$

當 α 從 $0^\circ \sim 90^\circ$ 時

$$\sigma_m = 2.95 \sim 4.2 \frac{P}{d^2}，$$

比不考慮圓角半徑計算的結果要小 25~40%。因此如果是軛頸的折斷大部分應在 $\alpha = 25^\circ \sim 35^\circ$ 之間（實際也是如此）。一方面是該處應力較大，再者該處摩擦和冷卻所產生的熱應力也較大。該處的彎曲應力

$$\sigma_{m-\max} \div 4.2 \frac{P}{d^2}。 \quad (14)$$

軛頸上的扭轉應力

$$\tau_m = \frac{M}{0.2d^3}。 \quad (15)$$

軛頸上的合成應力，鑄鐵對應力集中的敏感性差，可不考慮：

$$\sigma_{pm} = \frac{\sigma_m}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_m^2 + 4\tau_m^2}。 \quad (16)$$

軸頭處梅花頭的扭轉應力

$$\tau = \frac{M}{0.07d^3}。 \quad (17)$$