

Г.М.卡茨涅尔松 等著
范宗荣 赵志业 译

厚钢板 高精度轧制

冶金工业出版社



厚鋼板高精度度軋制

Г.М. 卡茨涅尔松 等 著

范宗荣 赵志业 譯

冶金工业出版社

本書述及在三輓勞特式軋机上高精确度热轧厚鋼板的工艺过程。著者研究了得到不均匀厚度鋼板的基本原因，以及影响最小公差軋制鋼板的主要因素，并叙述了軋輓和工作机架零件弹性变形的計算方法，以及軋輓輓型設計的方法。

書中引出鋼板軋輓磨損的大小及其特点的實驗資料以及測量軋輓磨損和軋輓溫度的方法。

本書供軋板車間工程技術人員閱讀，也适于科学工作者和高等学校学生參考。

Г.М.Кацнельсон, М.М.Сафьян, А.П.Чокмарев, Г.И.Малый
ПРОКАТКА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ
Металлургиядат (Мос ва 1957) -

厚鋼板高精确度軋制

范宗荣 赵志业 譯

編輯：叶建林 設計：魯芝芳、童膺菴

校对：王坤一

1958年12月第一版 1959年6月北京第二次印刷2,000册

(累計7,000册)

850×1163•1/32•98,000字•印张 $3\frac{28}{32}$ •定价 0.50元

中央民族印刷厂印

新华書店发行

書号1152

冶金工业出版社出版 (地址：北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

目 录

序論	4
第一章 决定厚鋼板高精确度軋制的因素	6
1. 厚鋼板在三輓勞特式軋机上的生产过程	6
2. 軋輓的弹性变形(弯曲)	12
3. 工作机架的弹性变形	37
4. 軋輓工作的溫度条件	49
5. 軋輓磨損	56
6. 軋輓重車	67
7. 軋机調整	70
8. 軋制时軋件的形状和金屬的溫度	81
9. 在最后几道中鋼板的軋制	89
10. 測量鋼板厚度的工具	95
第二章 三輓勞特式軋机的軋輓輓型設計	105
1. 确定軋輓的总凸度	103
2. 輓型的合理形状	110
第三章 軋制厚鋼板工艺规程中的主要条例	120
参考文献	

序 論

在国民經济各部門中，广泛地使用金屬板材。它們用来制造汽車、車廂、各种机器、桥梁、容器和貯水槽、等等。

鋼板常常用来制造建筑上使用的各种断面的弯曲产品。用焊接和鉚接鋼板的方法来制造鋼梁和其他大型尺寸的产品，因为这种大型尺寸的产品是不能直接用軋制方法获得的。

使新的鋼板軋机和新的鋼板車間投入生产，以及提高现有軋机的生产率都可以增加鋼板的生产。对提高鋼板产品的质量須給以很大的注意。鋼板不應該有麻点、裂紋等的缺陷；它的表面應該是光滑而平直的，沒有坑穴和皺紋。

鋼板的尺寸精确度有着特殊的意义。尺寸愈精确，也就說尺寸的波动范围愈窄，則以后鋼板的加工就愈少，而在用鋼板制作各种产品时的金屬消耗也愈小。鋼板的厚度有极大的作用；既然鋼板可按长度和宽度用剪切的方法来修整，那么鋼板的厚度只能用价值成本很高的鉋削加工方法来改变。軋好的鋼板一般都要去繼續加工，但是不鉋削表面。鋼

板上有名义厚度的偏差，在計算鋼板制品时必须考虑这些偏差。

此外，在按最大公差軋制时，鋼板的重量就比按名义尺寸計算的重量大，結果造成金屬的損耗；用这种鋼板作出的結構，其重量就要增大，而在結構中发生的应力就被故意减小。

鋼板軋制时厚度的波动决定于許多因素，其中最重要的有：軋制鋼錠溫度和化学成份的不固定，因此使金屬对軋輥的压力改变；由于这个緣故，使軋机工作机架的牌坊和所有受載荷零件的弹性变形值不固定，因此使軋輥間的距离也变化；在載荷作用下，軋輥受到弯曲和压扁，它的弹性变形值是不固定的，因此沿軋軋身上軋輥間的縫隙是不相同的；軋輥的溫度不固定，因而沿軋軋身长度上使軋軋身直径改变。这时，軋制的鋼板愈宽，則其厚度差可能愈大，而鋼板愈薄，則其厚度的相对波动就愈大。

此外，軋輥和軸承軸瓦的不均匀磨損、厚板軋机机架的不正

确调整及轧件不正确地送入轧机等等均影响钢板的名义厚度偏差。

轧板生产的技术工作者的任务在于改进生产方法，为的是得到与名义（理论的）尺寸接近的钢板。

本书中研究了引起钢板厚度波动的各种原因，以及在三辊劳特式轧机上提高轧制钢板的尺寸精确度的措施。目前在这些轧机上还生产着主要数量的厚板产品。

书中叙述这些三辊劳特式厚钢板轧机中的一台轧机的工作经验，在这台轧机上按高精度度轧制厚板已达到很好的结果。

第一章 决定厚钢板高精度轧制的因素

1. 厚钢板在三辊劳特式轧机上的生产过程、

用扁钢锭和板坯来作为轧制厚钢板的原料。

轧制前，把钢锭和板坯加以仔细的表面检查和清理，直到完全消除整个表面上的缺陷时为止。特别要注意检查钢锭和板坯宽面上的表面质量。

目前已有各种火焰的和机械的清理金属表面的方法〔1〕。

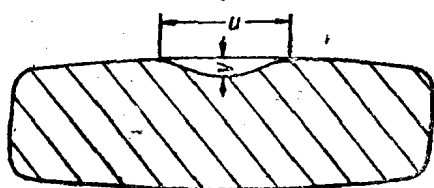


图1 在钢锭清理的地方沟槽坡口简图

热轧厚钢板的钢锭上及板坯上的表面缺陷多半用风铲和火焰烧嘴消除。

在清理钢锭和板坯时，应该把缺陷完全消除，并应在凿掉的地方留有足够的坡口，而且没有

能在钢板表面上引起疤皮（Hарат）的尖锐边缘和局部凹陷。

大多数工厂中，坡口的大小采取 $u \geq 6V$ （图1）。这样的坡口，轧制后在钢板上不会留下任何痕迹。

消除表面缺陷的深度，按先进工厂的经验取钢锭或板坯厚度的三分之一（指镇静钢来说），尽管以前限制此值为钢锭（板坯）厚度的百分之十。

在清理原料时，必须消除的缺陷计有：纵裂纹和横裂纹、结疤、夹渣、深轧入的铁鳞、耐火材料夹杂物、凸瘤、由于钢锭模烧裂而产生的网纹（Сетка）及其他。沸腾钢锭在加热时为了避免露出蜂窝气泡和避免形成痘痕（Оспина），应有足够厚度的表面紧密外壳。气泡的埋藏深度用凿子凿切的方法检查。

预先自镇静钢锭上切去缩头部份对轧制钢板的精确度有重大的影响。这个作业是在钢锭准备工段用特殊烧嘴进行的（图2）。

必須注意到，在軋机上軋制切過縮頭的鋼錠時，沿着切割的地方由於金屬上下層的疤皮而形成皺紋，因此，為避免金屬良好部份的多余損失，應該在縮頭部份上距縮頭與鋼錠本体交界 Δ 距離處進行切割，值 $\Delta \approx 0.05 H_{\text{сн}}$ （圖 3 和圖 4）。

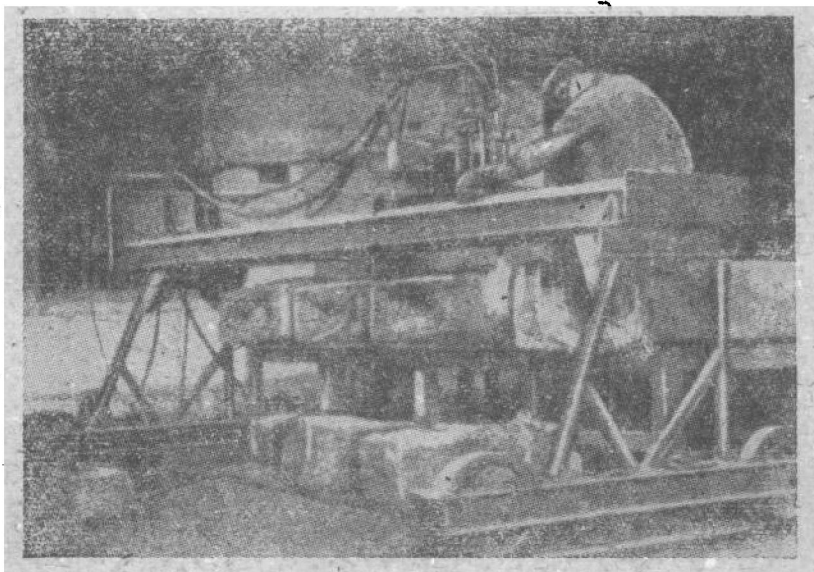


圖 2 切割鋼錠縮頭部份的裝置

每一鋼錠或板坯在檢查和清理以後加以標號（爐號、重量、鋼號、尺寸等等）。此後就送往軋板車間的連續式加熱爐。

裝爐以前，用壓縮空氣吹掉或用掃帚掃除鋼錠或板坯表面上的塵土和污垢，特別是在清理後留下的凹坑里。在鋼錠或板坯裝爐時，應把鑄削或火焰清理的表面朝下，以免在加熱金屬時爐渣積集在這些地方。

加熱的質量既影響軋机的生產率又影響鋼板尺寸的精確度。

所選擇的加熱制度應該保證：金屬必須的開軋溫度、沿鋼錠或板坯斷面上最小的溫度差、最少的表面脫炭和鋼的燒損、以及連續式加熱爐的高生產率。

金屬加熱的均勻性對高精度軋制鋼板來說具有特別重大的

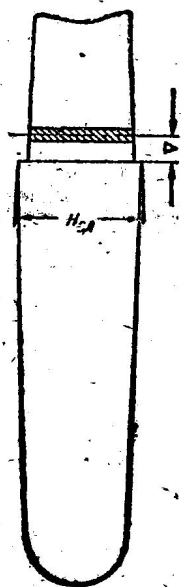


图 3 切割钢铤缩头部份的
简图

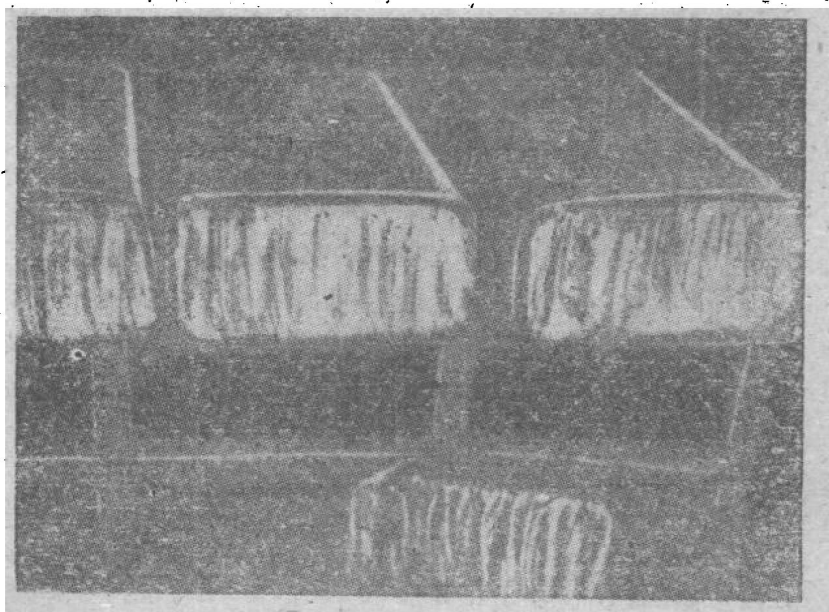


图 4 切割缩头部份后的钢铤

意义。为此，规定把燃烧燃料的热量50~60%供给金属下加热，规定均热钢锭和板坯，并且在出炉以前为了在它们之间得到间隙，规定要掀动钢锭或板坯。

为了得到优质的钢板表面，必须消除加热时在钢锭上和板坯上形成的铁鳞。残留的铁鳞深深地压进钢板的表面，就得用砂輪清理表面。钢板的表面只许在钢板厚度的负公差范围以内清理。按缩减公差轧制钢板时，应该特别仔细地清除炉内生成的铁鳞，因为清理的允许深度不大。

轧制前和轧制过程中可以用各种方法清除铁鳞。轧制前借机械的方法用特殊刮刀、金属刷子、铣刀等等来去除铁鳞。在轧制过程的头几道中，由于铁鳞的塑性不大，大部份铁鳞在轧制变形时破碎。虽然如此，但在头几道中施以大的压下量时，铁鳞仍会被压入金属的表面，因此，为了消除这种现象，在工作机架中或专为此目的而设立的除鳞机中，在开始有时采用小的压下量(5~10%)。此外，在轧制时轧件表面上的铁鳞借助于水力冲除器以及潮湿的树枝清除，而在某些情形下(在轧制形成“粘性”铁鳞的钢时)借助于抛到轧件表面上的食盐和用盐溶液浸透的毛布或麻袋布清除。用水力冲除器来清除铁鳞是靠一股水流的冲击力，这股水流是通过特殊的喷嘴在高压下(到120大气压)喷在轧件上下表面上的。

轧辊压住潮湿的树枝、盐、毛布等等到热轧件上的瞬间，由于形成气体，它们就急剧地增加体积，而在金属表面上把铁鳞崩碎。

为了预防折迭，用扫帚扫除或用水冲除脱下的铁鳞和金属小块。

在某些情况下为了防止铁鳞，利用特殊的涂料涂在炉中加热的钢锭或板坯的表面上。此种涂料或是在加热时防止形成铁鳞，或是促使形成在轧制时易碎的和容易除掉的铁鳞。

可以把钢板在轧机上的整个轧制过程分为三个有代表性的时期：去掉钢锭的锥度^①，展轧钢板的宽度和轧件向长度方向轧到

① 在由板坯轧制钢板时，没有去掉锥度的时期。

所要求的鋼板厚度。为了获得鋼板厚度的准确尺寸，在軋制过程的第三个时期的后几道中的軋件溫度具有特殊的意义。在其他条件相同的情况下，軋制金屬的溫度下降值决定于金屬在軋机上軋制的时间。因此，强化軋制过程和均匀的軋制节奏就改善了提高鋼板軋制精确度的条件，即高的軋机生产率也引起高的軋制精确度。

一张鋼板的軋制时间，由道次的延續时间和花費在輔助作业上的时间来确定。輔助作业占軋制时间的大部份（70~80%），它基本上包括了軋件在展軋鋼板的宽度时的轉向动作以及把軋件对准軋制中心綫的动作。

鋼板軋制时的道次数目决定于鋼錠或板坯的原始厚度、鋼板的最終厚度、軋件溫度和压下量；而压下量又决定于軋制速度、驅動电机的功率、軋輥直径和其他說明軋机特征的参数。合理的压下规程应该规定充分地利用可能的咬入角，也应在极合理的軋件轉向方式同軋鋼工的先进操作方法相配合下来考虑軋机的驅動功率和軋机零件的强度。

除了上述主要因素之外，測量軋件宽度（在軋制的第二个时期中）和測量最終鋼板厚度的时间对一张鋼板的軋制周期时间也有影响。

鋼板軋制后在鋼板矫直机上热矫，此后就在輸出軋道上冷却或是成堆冷却。以后鋼板按规定尺寸画綫。画綫过程中，用擦有白粉的細繩画出鋼板的輪廓和机械試驗的試样的輪廓，并进行表面的外观检查和鋼板打印。

在画綫以前，为了能够检查下表面而把鋼板翻轉。

在画綫时，要遵守由技术规程所规定的头部、尾部和側边的剪切量，此剪切量依鋼号以及鋼錠或板坯开始的形状而定。一些鋼板画綫的示例示于图 5 中，这些鋼板是由鎮靜鋼 α 、沸騰鋼 β 和板坯 γ 軋成的。

鋼板在鋸刀式剪切机（剪切前后端部）和圓盘式剪切机（剪切側边）上剪切。

有时仅在鋸刀式剪切机上剪切鋼板。在这种情况下剪切时，

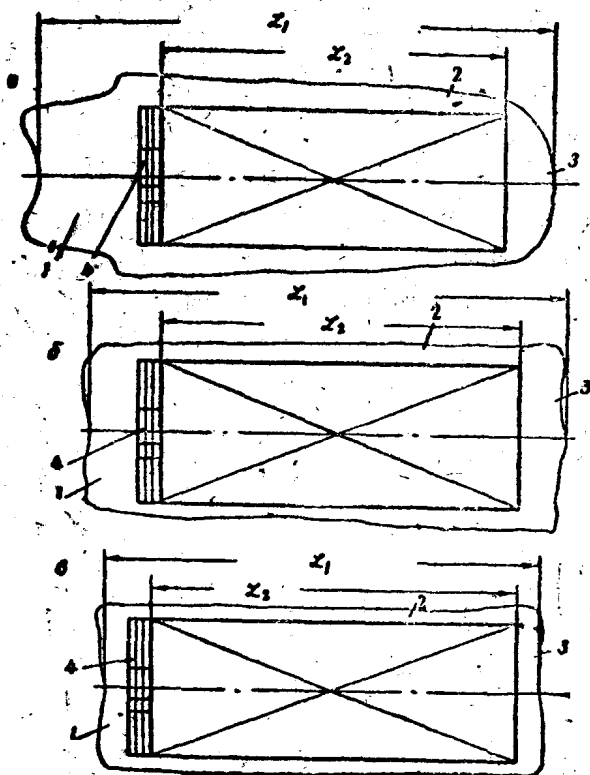


图 5 剪切鋼板和試样时軋件画綫簡图

1—头部的切边；2—侧面的切边；3—底部的切边；4—試样； L_1 —未剪切的鋼板长度； L_2 —剪切过的鋼板长度

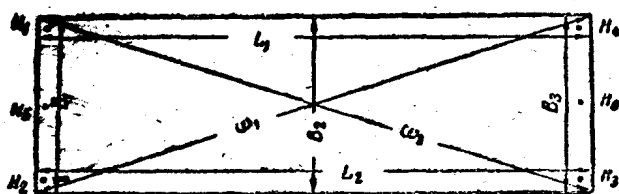


图 6 检查鋼板尺寸的簡图

用桥式起重机、磁力推床或其他方法在「鵝頸」床上轉动鋼板。

每一張鋼板剪切后，由技術監督處的工作人員檢查和驗收。這時檢查鋼板的寬度 (B_1 、 B_2 和 B_3 ——圖 6)、鋼板的長度 (L_1 和 L_2) 和對角綫 (w_1 和 w_2) 的尺寸是否在公差範圍以內。然後沿鋼板周邊在任意一些點上用千分尺測量鋼板的厚度。一般在鋼板的四個角上 (可能的最小厚度區域 H_1 、 H_2 、 H_3 和 H_4) 以及在鋼板前端和后端的中間 (可能的最大厚度區域 H_5 和 H_6) 測量鋼板的厚度。此后沿剪切面檢驗鋼板的端部。

檢查鋼板時假若發現有缺陷 (結疤、裂紋、壓入金屬或爐渣、鐵鱗堆積、夾層、側邊髮裂等等)，則凿到缺陷最深的地方檢查缺陷存在的深度，并用深度計確定清理的深度。若缺陷深度超出鋼板厚度的負公差，鋼板就得報廢，或用于其他用途。當缺陷深度小於鋼板的負公差時，把鋼板送去清理。當側邊上有夾層和髮裂時，就用凿把它們鏟除。金屬分叉就說明夾層還未消除。

假若對鋼板的機械性質提出特別要求，則把鋼板熱處理。必須注意到，由于熱處理時形成表面鐵鱗鋼板的厚度會稍許減少。因此，軋制這種鋼板時，應該留出 0.2~0.3 公厘左右的厚度余量。

假若需要的話，鋼板要進行冷矯。

厚鋼板在檢查過它們的實際重量和得到有關機械性質及其他性質的結論以后，才進行最終驗收。技術監督處在接收的鋼板上打印，并把鋼板送到成品倉庫去以便發送給用戶。

2. 軋軋的彈性變形 (彎曲)

在三軋勞特式軋機上，每道中軋件是在中軋與上軋間或在中軋與下軋間進行壓縮的。這時，上下軋被傳動，而中軋空轉。因此，壓縮金屬的上 (下) 軋可以看作是二軋式軋機的傳動軋軋。至于中軋和起支撐作用的下 (上) 軋，根據軋軋間產生壓力的特點，可以把它們看作是四軋式軋機的軋軋，雖然兩者傳動軋軋的

方式不相同。

现在来研究一下二辊式轧机轧制时轧辊的弹性变形(图7)。設軋件对軋身中点对称放置,并設金屬传给軋軋的压力为均布載荷 $q = \frac{P}{b}$, 式中 P ——金屬对軋軋的总压力; b ——軋件宽度。

那么,作用在左右两軋軋上的支撑反作用力将是相等的,并且軋軋的弹性綫将与軋軋的中点对称。

在图7上沿軋軋长度把它分成三个有代表性的区段。

我們先要求出軋軋受弯曲力矩作用的弹性綫公式:

$$(Y_M) = \varphi(M_x)。$$

支于两支点上的梁的弹性綫微分方程式为下面的形式:

$$\frac{d^2(Y)_M}{dx^2} = -\frac{M}{EI}。 \quad (1)$$

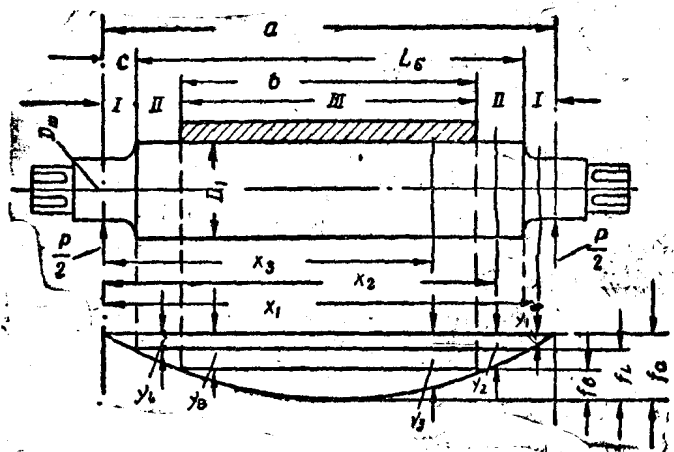


图7 計算鋼板軋机軋軋撓度的图示

现在研究 I 区段:

$$\frac{a+L_c}{2} \leq x_1 \leq a。$$

这个区段的弯曲力矩等于:

$$M_1 = -\frac{qb}{2} (a-x_1)。$$

因此，弹性綫的方程式将为

$$EI_{II} \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -\frac{qb}{2} (a-x_1)；$$

带括号积分，

$$EI_{II} \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{qb}{2} \times \frac{(a-x_1)^2}{2} + c_1； \quad (2)$$

再积分一次得

$$EI_{II} Y_1 = -\frac{qb}{2} \times \frac{(a-x_1)^3}{6} + c_1 x_1 + c_2。 \quad (2')$$

Ⅰ 区段：

$$\frac{a+b}{2} \leq x_2 \leq \frac{a+L_0}{2}。$$

軋輥在这个区段上的弯曲力矩等于：

$$M_2 = \frac{qb}{2} (a-x_2)。$$

因此，弹性綫的方程式将为

$$EI_I \frac{d^2 Y_2}{dx_2^2} = -\frac{qb}{2} (a-x_2)；$$

带括号积分这个公式，

$$EI_I \frac{dY_2}{dx_2} = \frac{qb}{2} \times \frac{(a-x_2)^2}{2} + c_3； \quad (3)$$

再积分一次得

$$EI_I Y_2 = -\frac{qb}{2} \times \frac{(a-x_2)^3}{6} + c_3 x_2 + c_4。 \quad (3')$$

Ⅱ 区段：

$$\frac{a}{2} \leq x_2 \leq \frac{a+b}{2}。$$

軋輥在这个区段上的弯曲力矩等于；

$$M_s = -\frac{qb}{2}(a-x_s) + \frac{q}{2}\left(a - \frac{a-b}{2} - x_s\right)^2。$$

因而，弹性綫的方程式将为

$$EI_1 \frac{a^3 Y_3}{ax_s^3} = -\frac{qb}{2}(a-x_s) + \frac{q}{2}\left(\frac{a+b}{2} - x_s\right)^2；$$

积分得：

$$EI_1 \frac{dY_3}{dx_s} = \frac{q}{2} \left[b \frac{(a-x_s)^2}{2} - \frac{1}{3} \left(\frac{a+b}{2} - x_s \right)^3 \right] + C_3； \quad (4)$$

再积分一次得

$$EI_1 Y_3 = -\frac{q}{2} \left[\frac{b}{6} (a-x_s)^3 - \frac{1}{12} \left(\frac{a+b}{2} - x_s \right)^4 \right] + c_3 x_s + c_4。 \quad (4')$$

我們由下面四个边界条件来确定积分常数 c_1, c_2, c_3 及 c_4 。

第一条件：当 $x_1 = x_2 = (a-c)$ 时， $Y_1 = Y_2$ ，即在軛身与軛頸的联接处，軛身的挠度 (Y_2) 与軛頸的挠度 (Y_1) 相等。

由图 7 可以看出 $(a-c) = \frac{a+L_6}{2}$ 。

第二条件：当 $x_1 = x_2 = (a-c)$ 时， $\frac{dY_1}{dx_1} = \frac{dY_2}{dx_2}$ ，即在軛身与軛頸的联接处，第一区段弹性綫的倾斜角等于第二区段弹性綫的倾斜角。

第三条件：当 $x_1 = a$ 时， $Y_1 = 0$ ，即軛在支点的挠度等于零。

第四条件：当 $x_s = \frac{a}{2}$ 时， $\frac{dY_3}{dx_s} = 0$ ，即在軛軛最大挠度处 (軛軛中点) 弹性綫倾斜角的正切等于零。

把 $x_1 = x_2 = (a-c)$ 值代入公式 2' 和公式 3' 中，即根据第一条件，并使两挠度相等，則最終得到

$$\begin{aligned} Y_1 = Y_2 &= \frac{1}{EI_m} \left[-\frac{qbc^3}{12} + c_1 a - c_1 c + c_2 \right] \\ &= \frac{1}{EI_1} \left[-\frac{qbc^3}{12} + c_3 a - c_3 c + c_4 \right]。 \end{aligned} \quad (5)$$

把 $x_1 = x_2 = (a-c)$ 值代入公式 2 和公式 3 中，即根据第二条件，并使軋身与軋頸联接处的两傾斜角的正切相等，則最終得到

$$\frac{dY_1}{dx_1} = \frac{dY_2}{dx_2} = \frac{1}{EI_m} \left[\frac{qbo^2}{4} + c_1 \right] = \frac{1}{EI_1} \left[\frac{qbo}{4} + c_2 \right] \quad (6)$$

把 $x_1 = a$ 值代入公式 2' 中，即根据第三条件，并使軋軋在支点的挠度为零，則最終得到

$$EI_m Y_1 = 0 = c_1 a + c_2 = 0 \quad (7)$$

把 $x_3 = \frac{a}{2}$ 值代入公式 4 中，即根据第四条件，并使軋軋最大挠度处的弹性綫傾斜角的正切为零，則最終得到

$$\begin{aligned} \frac{dY_3}{dx_3} = 0 &= \frac{1}{EI_1} \left[\frac{q}{2} \left(\frac{a^2b}{8} - \frac{b^3}{24} \right) + c_3 \right] \\ &= \frac{1}{EI_1} \left[\frac{qb}{48} (3a^2 - b^2) \right] + c_3 \frac{1}{EI_1} \end{aligned} \quad (8)$$

由公式 8 求出常数值：

$$c_3 = -\frac{qb}{48} (3a^2 - b^2) \quad (9a)$$

把常数值 c_3 代入公式 6 中，則可求出常数值 c_1 ：

$$c_1 = \frac{qI_m}{48} \left[\frac{b^3}{I_1} - \frac{3a^2b}{I_1} + 12bc^2 \left(\frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_m} \right) \right] \quad (9b)$$

把常数值 c_1 代入公式 7 中，則可求出常数值 c_2 ：

$$c_2 = \frac{abqI_m}{48} \left[\frac{1}{I_1} (3a^2 - b^2) + 12c^2 \left(\frac{1}{I_m} - \frac{1}{I_1} \right) \right] \quad (9c)$$

把求出的这些常数值 c_1 、 c_2 和 c_3 代入公式 5 中，則可求出常数值 c_4 ：

$$c_4 = \frac{qb}{48} \left[a (3a^2 - b^2) + 8c^2 \left(\frac{I_1}{I_m} - 1 \right) \right] \quad (9d)$$

算出軋軋 I、II 和 III 区段的弹性綫的公式 2'、公式 3' 和公式 4'，以及算出这些积分常数，我們就可最終写出所有区段上受弯曲力矩作用的弹性綫公式。