

202511

# 弯卷机和矫正机

莫施宁 著



机械工业出版社

4  
403

# 弯 卷 机 和 矫 正 机

莫 施 宁 著

徐 鲤 庭 译



机械工业出版社

1958

## 出版者的話

本書的头兩章簡明地敘述了塑性弯曲的理論及弯卷与矯正的工艺过程，同时闡述了弯卷机和矯正机的分类。在以后各章中則分別討論了各主要类型的旋轉式弯卷机和矯正机的構造与計算方法。

本書供設計部門从事鍛压和軋鋼設備設計工作的工程技術人員及鍋爐車間、准备車間和軋鋼車間的机械師与工艺師閱讀，本書也可供以金屬压力加工为其專業范围的机械制造学院的大專学生参考。

苏联 Е. Н. Мошнин 著“Гибочные и правильные машины”  
(Машгиз 1956年 第一版)

\*

\*

\*

NO. 1743

---

1958年10月第一版    1958年10月第一版第一次印刷  
850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 字数209千字 印張8<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 0,001—2,100册  
机械工業出版社(北京东交民巷27号)出版  
机械工業出版社印刷厂印刷    新华書店發行

---

北京市書刊出版業營業許可証出字第008号    定价(10) 1.50元

# 目 次

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 序言 .....                    | 5   |
| 本書所用的符号 .....               | 7   |
| 第一章 塑性弯曲以及弯卷和矯正过程的理論 .....  | 9   |
| §1 塑性弯曲概論 .....             | 9   |
| §2 三度空間中的純塑性弯曲 .....        | 13  |
| §3 綫性的純塑性弯曲 .....           | 27  |
| §4 彈塑性弯曲 .....              | 38  |
| §5 多次的塑性弯曲 .....            | 42  |
| §6 借橫向弯曲法完成的弯卷 .....        | 45  |
| §7 具有拉伸的弯卷 .....            | 46  |
| §8 借橫向弯曲法完成的矯正 .....        | 56  |
| §9 借拉伸法完成的矯正 .....          | 57  |
| 第二章 弯卷机和矯正机的分类 .....        | 59  |
| §10 弯卷和矯正的工艺过程 .....        | 59  |
| §11 机器的分类 .....             | 60  |
| 第三章 軸輥式板材弯卷机和板材弯卷-矯正机 ..... | 63  |
| §12 机器的动作原理、用途和型式 .....     | 63  |
| §13 对称的三軸輥机 .....           | 65  |
| §14 不对称的三軸輥机 .....          | 85  |
| §15 四軸輥机 .....              | 94  |
| §16 联合机 .....               | 110 |
| §17 个别机构的构造 .....           | 114 |
| 第四章 輥式型钢弯卷机 .....           | 126 |
| §18 机器的动作原理、用途和型式 .....     | 126 |
| §19 垂直式机器 .....             | 126 |
| §20 水平式机器 .....             | 136 |
| §21 个别部件的构造 .....           | 142 |

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| 4   |                            |
| 第五章 | 多軸輥式板材矯正機 ..... 145        |
| §22 | 機器的動作原理、用途和型式 ..... 145    |
| §23 | 輥列平行的機器 ..... 149          |
| §24 | 輥列不平行的機器 ..... 175         |
| §25 | 軸輥位置可局部調節的機器 ..... 189     |
| §26 | 個別部件的構造 ..... 195          |
| 第六章 | 多輥式型鋼矯正機 ..... 214         |
| §27 | 機器的動作原理、用途和型式 ..... 214    |
| §28 | 開式矯正機 ..... 215            |
| §29 | 閉式矯正機 ..... 220            |
| §30 | 個別機構的構造 ..... 228          |
| 第七章 | 轉台式型鋼彎卷機 ..... 231         |
| §31 | 機器的動作原理、用途和型式 ..... 231    |
| §32 | 轉台式彎卷機 ..... 232           |
| §33 | 具有旋轉和往復運動的轉台之彎卷機 ..... 237 |
| §34 | 轉台式彎卷-拉伸機 ..... 240        |
| 第八章 | 擺梁式板材彎卷機 ..... 242         |
| §35 | 機器的動作原理、用途和型式 ..... 242    |
| §36 | 驅動位於側面的機器 ..... 244        |
| §37 | 驅動位於後面的機器 ..... 249        |
| §38 | 多馬達驅動的機器 ..... 253         |
| §39 | 主要零件的結構和材料 ..... 258       |
| 第九章 | 雙輥式板材彎卷機 ..... 260         |
| §40 | 雙輥式板材彎卷機 ..... 260         |

## 序 言

弯卷机和矫正机广泛地应用在金属加工工业中。

在弯卷机上可以弯卷圆筒，鍋爐管子，各式各样设备的法兰，建筑物的零件，船舶的壁板，火車、电車、汽車和无軌电車的无数零件及农业机器的零件等。

矫正机主要应用于軋件生产中，其时矫正过程是一个主要的精整工序；同时矫正机在机器制造工业中也被采用以矫正鍛件和机械加工的零件。

在技术文献中，对弯卷机和矫正机，它们的构造和計算都很少闡述，关于这类机器方面的專門書籍更是缺乏。

本書的目的是以系統的方式对旋轉的弯卷机和矫正机在构造和計算方面給予原則性的材料。本書将討論最常見的弯卷机和矫正机，并对机器各主要的力学和几何参数的計算方法有所引証。在本書的开端，还闡述了塑性弯曲的理論基础，而这是絕大多数弯卷和矫正工艺过程的主要变形方式。

本書并未包括鋼管弯卷机和鋼管矫正机，因为这些都是应用很窄的專業机器；同样本書也未包括多对軋式定徑机（定徑軋机），因为这是屬於特殊軋鋼设备的。

当編写本書时，曾应用作者在塑性弯曲方面及計算弯卷机和矫正机主要参数方面所作的理論的和实验的研究。

6

## 本書所用的符号

### 被弯曲的梁的初始尺寸 (弯曲前)

$h$  —— 高度 (公厘);

$b$  —— 寬度 (公厘);

$l$  —— 長度 (公厘);

$F$  —— 横截面面积 (公厘<sup>2</sup>);

$J$  —— 横截面的慣性矩 (公厘<sup>4</sup>);

$W$  —— 横截面的断面模数 (公厘<sup>3</sup>);

$S$  —— 双倍的半个横截面的靜力矩 (公厘<sup>3</sup>);

$k_1 = \frac{S}{W}$  —— 形状系数;

$R_1$  —— 通过横截面重心層的初始半徑 (公厘)。

### 彈复前弯曲梁的尺寸

$h_0$  —— 高度 (公厘);

$l_0$  —— 長度 (公厘);

$R$  —— 通过横截面重心層的半徑 (公厘);

$R_B$  —— 內半徑 (公厘);

$R_H$  —— 外半徑 (公厘);

$\rho$  —— 应力中性層, 亦即切向应力突然改变符号而 徑向应力达到最大值那一層的半徑 (公厘);

$\rho_0$  —— 变形中性層的半徑 (公厘);

$y$  —— 沿高度方向离开中性層的 可变尺寸 (公厘);

$y_s$  —— 从中性層到彈性区和塑性区交界層之間的距离 (公厘);

$R_y$  —— 可变半徑 (公厘);

$r = \frac{R}{h}$  —— 通过横截面重心層的相对半徑;

$r_B = \frac{R_B}{h}$  —— 相对內半徑;

$r_H = \frac{R_H}{h}$  —— 相对外半徑;

$\rho'$  —— 应力中性層的相对半徑;

$\rho$  —— 变形中性層的相对半徑;



$\alpha = \rho' - r_B$ ——从最内層到应力中性層之間的相对距离;

$\alpha_2 = \rho'_0 - r_B$ ——从最内層到变形中性層之間的相对距离;

$\eta = \frac{h_0}{h}$ ——弯曲梁的高度減縮系数;

$\alpha$ ——弯曲角 (弧度)。

### 彈复后弯曲梁的尺寸

$R_0$ ——通过横截面重心層的半徑 (公厘);

$R_{0B}$ ——内半徑 (公厘);

$R_{0H}$ ——外半徑 (公厘);

$r_0 = \frac{R_0}{h}$ ——通过横截面重心層的相对半徑;

$\frac{1}{r_{np}}$ ——彈复的相对曲率;

$\alpha_0$ ——弯曲角 (弧度);

$\Delta\alpha$ ——彈复角 (弧度)。

### 表示負荷强度的数值

$M$ ——弯曲力矩 (公斤·公厘);

$m = \frac{M}{W\sigma_s}$ ——相对弯曲力矩;

$M_0$ ——无强化純塑性弯曲的弯曲力矩或有强化純塑性弯曲的初始弯曲力矩 (公斤·公厘)。

### 材料机械性能和应力-变形状态的符号

$\sigma_s$ ——屈伏極限 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\sigma_B$ ——强度極限 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\sigma_{\text{ш}}$ ——拉伸时呈現頸縮那一刻的真实应力 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$E$ ——彈性系数 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\Pi_1$ ——真实应力曲綫圖中第二段的強化系数 (公斤/公厘<sup>2</sup>) (見圖 3);

$\Pi_2$ ——真实应力曲綫圖中第三段的強化系数 (公斤/公厘<sup>2</sup>) (見圖 3);

$\sigma$ ——綫性应力-变形状态时的真实应力 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\sigma_{1H}$ 和 $\sigma_{1B}$ ——弯曲梁外区和内区的切向主应力 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\sigma_{2H}$ 和 $\sigma_{2B}$ ——弯曲梁外区和内区的横向主应力 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\sigma_{3H}$ 和 $\sigma_{3B}$ ——弯曲梁外区和内区的徑向主应力 (公斤/公厘<sup>2</sup>);

$\epsilon$ ——相对真实变形;

$\epsilon_s$ ——最大彈性相对变形;

$\delta$ ——延伸率;

$\delta_B$ ——均匀伸率;

$k_0$ ——相对強化系数, 其值等于強化系数 $\Pi_1$ 和屈伏極限 $\sigma_s$ 的比值。

# 第一章 塑性弯曲以及弯卷和

## 矯正过程的理論<sup>●</sup>

### § 1 塑性弯曲概論

塑性弯曲开始于弯曲梁在彈性弯曲过程中所获得的某种初始曲率，因而它的普遍形式是一种具有曲綫軸綫的梁的弯曲，这时其橫截面上沿高度方向的边区（一个或二个）中，在弯曲力矩的作用下業已产生材料的塑性变形。最大的变形产生于切綫方向（順沿梁軸），产生在外区（相对曲率中心而言）的是拉伸变形；而产生在内区的則是压缩变形。随弯曲曲率的增加，两个塑性变形区均向梁的中部扩张，在極端情况下匯集在一处。

根据塑性变形时容积不变的条件，伴随切綫方向的塑性变形在与其垂直的其他一个或两个方向——徑向和橫向（橫切）——中，必生有形式与之相反的塑性变形。

后一种变形使梁的橫截面在弯曲过程中發生扭曲（圖 1）。因为沿梁高的不同号变形企图使梁的橫截面获得环段状（圖 16，虛綫），但梁的曲率却阻碍这种变形，所以寬梁的橫向变形很难。

彈性弯曲时生效的切綫方向正应力（切向应力）分布的直綫規律在弯曲轉变为塑性阶段时就大大地复杂起来，这一方面是由于出現了塑性区，另一方面則由于梁的曲率对其材料应力状态的影响。

弯曲梁的曲率引起各縱向層相互間的压迫，因而产生了徑向的应力，其值在中性層上达到最大。此外，由于寬梁在橫的方向

● 1954年由苏联国立机器制造書籍出版社（Машгиз）出版之中央机器制造与工艺科学研究所（ЦИИТМАШ）論文集第62卷中作者所写的「塑性弯曲的研究」一文对塑性弯曲的理論有更詳尽的叙述。

中难于进行变形，所以其中还产生横向应力。

这样，在塑性弯曲时发生的是三度空间的应力-变形状态。宽梁的应力状态是三度空间的，而变形状态是平面的（圖 2 a）。窄梁则相反，换言之，即应力状态是平面的，而变形状态是空间的（圖 2 b）。同时，梁的应力-变形状态沿其高度是不均匀的。

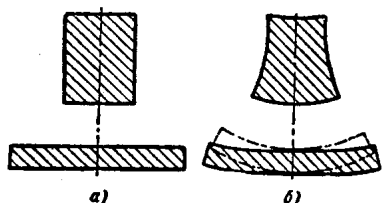


圖 1 塑性弯曲时梁的横截面的扭曲：  
a—弯曲前；b—弯曲后。

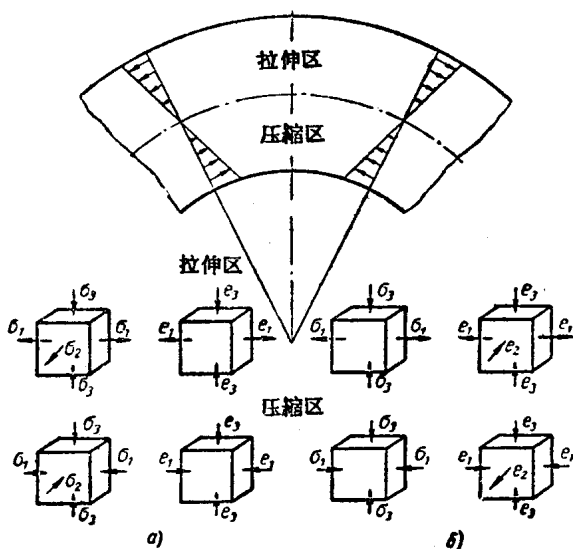


圖 2 塑性弯曲时的应力-变形状态图：  
a—宽梁；b—窄梁。

塑性弯曲时空間的应力-变形状态对弯曲梁的变形特性有很大的影响。与弹性弯曲不同，在塑性弯曲时，可以看到弯曲梁的长度有所增加而高度和横截面积减缩，以及如前所述，梁的横截面还发生扭曲。

上述均属于純塑性弯曲，也就是只在沿梁的全長弯曲力矩都

固定不变地作用下所产生的弯曲；在横向塑性弯曲的场合下，除了弯曲力矩以外，还有由于横向力的作用所产生的剪切应力存在，所以它的应力-变形状态的特性将更加复杂。

由于塑性弯曲时沿梁的高度方向应力-变形状态的不均匀性很大，同时材料塑性变形时的强化特性也很复杂，所以在一般场合下，塑性弯曲的数学分析会遇到很大的困难。因此如对全部塑性弯曲的范围都采取同样的简化，那么就会导致某些阶段塑性弯曲极不准确的結果。

在冷的和热的状态下所进行的塑性弯曲的实验和理论研究証明，对于个别弯曲阶段而言，相当重大的简化也是完全可以允許的。对基本原则的主要简化如下：采取和分析弹性弯曲时类似的假想綫性应力-变形状态圖，忽略横截面中部的弹性弯曲区和选取简单的真实应力和变形之间的解析关系。在今后的叙述中〔相对弯曲半径〕这一概念均被用来代表弯曲半径和弯曲梁初始高度的比值。相对弯曲半径代表弯曲梁各层的变形程度，因而是一个用来比较的数值。

现在我们来讨论对不同阶段的塑性弯曲允許进行部分简化的可能性。

a) 表现为横截面收缩和扭曲以及弯曲梁伸长的三度空间的应力-变形状态仅在相对半径很小，譬如說小于3~5时才能产生。因此，当分析相对半径較大的弯曲时，可以假想地采用綫性应力-变形状态，換句話說在这种场合下分析弯曲时只須考虑切綫方向的应力和变形。

6) 中部的弹性变形区对弯曲力矩的数值和过程中其他参数的影响仅当相对弯曲半径很大时才能显著地表现出来。随弯曲半径的减小，这一变形区的影响可降至極小。因此，从某一半径开始即可将其忽略不計而認為弯曲梁的全部截面均为塑性变形所占据。

b) 当选取应力和变形之间的关系时，从在所有的塑性形变

方式下(在冷的和热的状态下都如此)仅有單一的真正应力曲綫这一假定出發。換言之,即假定弯曲梁外区和内区的材料强化仅和变形程度有关。因此,通过整理靜力拉伸試驗的結果所得到的真正应力曲綫圖就对塑性弯曲也可發生效用。这个条件对碳結構鋼和低合金鋼均可采用。

对最常見的金屬,如碳鋼,特殊鋼以及鋁和銅的合金而言,真正应力曲綫都有很复杂的特性,因而到目前为止,还不能用一般化的解析关系式来足够精确地表达出这种曲綫。

从研究各种材料真正应力的实验曲綫中可以得出結論,用与其最为接近而由三段直綫所組成的曲折綫(圖3)来作为簡化的关系曲綫最为方便: 1——彈性变形段, 2——代表强化較剧的小量塑性变形段和 3——大量塑性变形段。

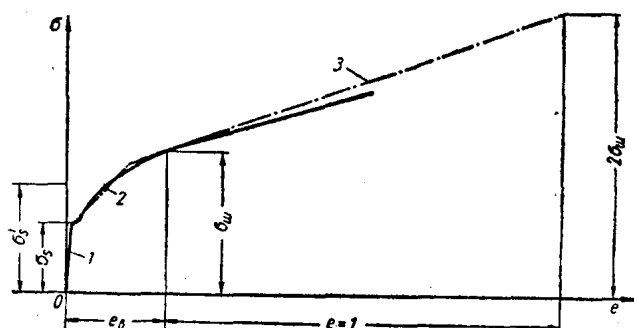


圖3 拉伸时建議的簡化真正应力圖:

——实际曲綫; - - - 簡化的关系曲綫。

这个假定最能反映真正应力变化的特性,并可簡化数学上的換算。

除了上列簡化之外,在作塑性弯曲的理論分析时一般均忽略其剪切应力,換言之,即認為其时是純塑性弯曲而截面平直的假說依然正确;弯曲前垂直于梁縱向軸綫的平截面在弯曲后依然保持为平面,并垂直于梁的弯曲軸綫。虽然弯曲的工艺过程照例是通过橫向塑性弯曲来实现,但在大部分場合下,剪切应力都很微

小而并不对弯曲过程發生显著影响。

根据所取的假定，塑性弯曲可以分为三个阶段：三度空間的純塑性弯曲，綫性純塑性弯曲和彈塑性弯曲。

1. 三度空間的純塑性弯曲相当于小相对半徑（低于3~5）的弯曲，以大量变形及它所引起的非常显著的三度空間的应力-变形状态为其特点，这种应力-变形状态表現在弯曲梁的伸長和其橫截面的扭曲和減縮方面。

从数量方面来看，切綫方向的变形主要存在于真正应力圖中的第三段变形范圍中。分布在弯曲梁中性層附近各層的变形虽然尚相当于应力圖的第一段和第二段，但因为这些層的高度都極小，所以我們可以認為真正应力圖第三段的依存关系一直扩及到中性層为止。

2. 綫性的塑性弯曲相当于中等相对半徑（由3~5到200之間）的弯曲。因为此时应力-变形状态的三度空間性表現尚不显著，所以可以忽略不計而認為应力-变形状态是綫性的。

中部的彈性变形区在数量方面同样也較小而可認為弯曲梁的全部橫截面均在進行塑性变形。此时变形处在真正应力圖的第二段范圍內。

綫性純塑性弯曲的数学分析最簡單，可以求得对不同形状的橫截面均可适用而并不复杂的計算公式。

3. 彈塑性弯曲开始于在高度方面最边上各層的变形从彈性范疇轉变为塑性范疇的时候，它以等于200的相对半徑为其界限。这一阶段弯曲的特点是中部彈性变形区的数量很大。变形量相当于真正应力圖的第一段和第二段。

应力-变形状态更为接近于綫性。

现在来討論弯曲的每一个阶段，首先討論塑性弯曲中最一般的場合——三度空間的純塑性弯曲。

## §2 三度空間中的純塑性弯曲

作用在梁的横截面中的应力 因为在絕大多数的工艺过程中仅对板材和带状的軋件才要求小的弯曲半径，所以我們只討論寬矩形梁的弯曲。

首先第一步是选取弯曲梁的塑性方程式和基元体积中的平衡方程式。

寬梁弯曲时应力状态的特点是在三个互相垂直的方向中均有主正应力存在：切綫方向的  $\sigma_1$ ，橫向的  $\sigma_2$  和徑向的  $\sigma_3$ 。因为在梁的寬度方向上沒有变形，所以应力  $\sigma_2$  应是数值居中的主正应力，其值等于其他两个主应力之和的一半：

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (1)$$

此时塑性方程式的通用形式可用下式表之：

$$\sigma_1 = 1.15\sigma_s + \sigma_3 \quad (2)$$

对于那些变形时沒有强化的材料而言， $\sigma = \sigma_s$ ；对于那些变形时發生强化的材料而言， $\sigma = \sigma'_s + H_2\epsilon$ 。在这种場合下，所采取的是应力和变形之間簡化了的直綫依存关系，变形程度很大时，这种关系能够相当近似地摹拟真实曲綫；式中  $\sigma'_s$ ——外推屈服極限。

弯曲时相对真正变形为

$$\epsilon = \ln \frac{R_y}{\rho_0} \quad \circ$$

現在我們来研究以两个相互之間弯成夹角  $d\alpha$  的平面所截成的弯曲梁的无限小基元体（圖 4）。在曲率中心外面的外区中，切綫方向的应力  $\sigma_1$  是拉应力，在內区中的应力則为压应力。徑向应力  $\sigma_3$  沿梁的全部高度均为

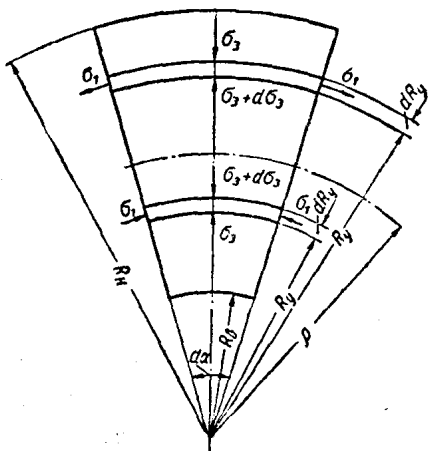


圖 4 弯曲梁无限小基元上力的作用圖。

● 在热变形的場合下可把拉伸时和均匀延伸率相对应的真正应力当作  $\sigma_s$ 。

压应力。

这样，每区的塑性方程式应为下列形式：

对于外区而言

$$\sigma_{1H} = 1.15 \left( \sigma'_s + \Pi_2 \ln \frac{R_y}{\rho_0} \right) - \sigma_{3H}; \quad (3)$$

$$\sigma_{1H} = 1.15 \sigma_s - \sigma_{3H}; \quad (4)$$

对于内区而言

$$\sigma_{1B} = 1.15 \left( \sigma'_s - \Pi_2 \ln \frac{R_y}{\rho_0} \right) + \sigma_{3B}; \quad (5)$$

$$\sigma_{1B} = 1.15 \sigma_s + \sigma_{3B0} \quad (6)$$

方程式 (4) 和 (6) 相当于没有强化的塑性弯曲。

同时解塑性方程式和單位宽度弯曲梁中无限小基元的平衡方程式，即可求得对切綫方向应力的表达式为：

$$\sigma_{1H} = 1.15 \left[ \sigma'_s \left( 1 - \ln \frac{R_H}{R_y} \right) + \frac{\Pi_2}{2} \left( 2 \ln \frac{R_y}{\rho_0} + \ln^2 \frac{R_y}{\rho_0} - \ln^2 \frac{R_H}{\rho_0} \right) \right]; \quad (7)$$

$$\sigma_{1B} = 1.15 \left[ \sigma'_s \left( 1 + \ln \frac{R_y}{R_B} \right) - \frac{\Pi_2}{2} \left( 2 \ln \frac{R_y}{\rho_0} + \ln^2 \frac{R_y}{\rho_0} - \ln^2 \frac{R_B}{\rho_0} \right) \right]. \quad (8)$$

同法也能求得对徑向和橫向应力的表达式。

当塑性弯曲沒有强化时，强化模数等于零，因此

$$\sigma_{1H} = 1.15 \sigma_s \left( 1 - \ln \frac{R_H}{R_y} \right); \quad (9)$$

$$\sigma_{1B} = 1.15 \sigma_s \left( 1 + \ln \frac{R_y}{R_B} \right). \quad (10)$$

当塑性弯曲沒有强化时，切綫方向的应力沿梁高的分布如图 5 所示。当塑性弯曲有强化时也是类似的应力分布圖形。

**塑性弯曲时的变形机构** 由于徑向应力的作用，拉伸区中的切向应力在靠近中性層时逐渐减小，但在压缩区中則增加，因而应力中性層相对于中間層来說是移向曲率中心这面，因为只有在這種場合下才能滿足靜力学的条件：所有作用在梁的橫截面上的各力之和等于零。



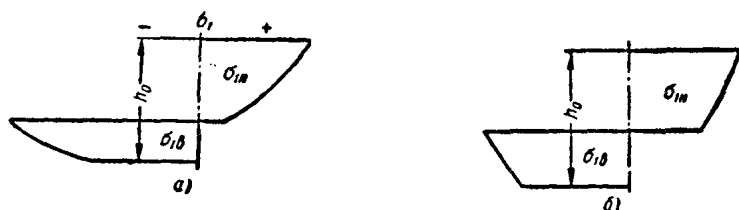


圖 5 当三度空間的純塑性弯曲没有强化时切綫方向应力的分布:

$a$ —相对半径等于 0.25;  $b$ —相对半径等于 1.0。

随梁的弯曲曲率之增加，徑向应力不断地加大，因此，应力中性層移向內区中業已發生压缩变形的地方的位移也不断地增加。应力中性層是弯曲梁的横截面繞以發生偏轉的一層，因为只有在這種場合下，才能由于切向变形增長方向的改变而改变切向应力的符号。

当梁的横截面圍繞位于压缩区中的各中心而偏轉时，变形中性層同样也将向曲率中心这一面移动，这一点在圖 6 中可以看到。

离开通过曲率中心的垂直軸一个單位長度

距离的横截面 1-1 在弯

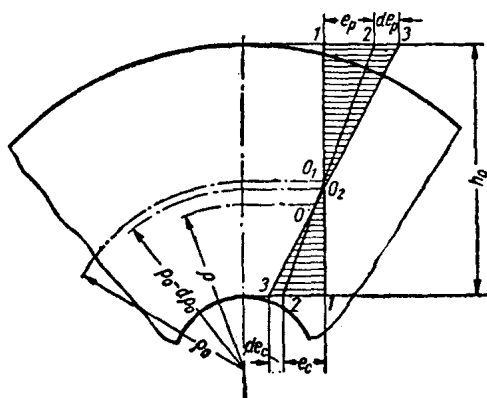


圖 6 三度空間塑性弯曲时的切向变形圖。

曲后占有了位置 2-2 (为了便于观察，横截面在高度方面已經取齐)。当弯曲曲率增加一无限小值时，該截面就圍繞位于应力中性層上的中心  $O$  而偏轉到位置 3-3；变形中性層就从点  $O_1$  移到点  $O_2$ 。

因此，位于中間層 (点  $O_1$ ) 下面的各層中产生了不單一的变形；弯曲开始时这些層受到压缩，然后当应力中性層通过它們之后，它們就开始受到拉伸，并当变形中性層和它們重合时就恢复了原来的長度。