

# 成批生产中 板材和型材零件的 制 造

[苏联] A. H. 格罗莫娃、B. И. 查维雅洛娃、  
B. K. 高洛包夫 合著

# 成 批 生 产 中 板 材 和 型 材 零 件 的 制 造

[苏联]A. H. 格罗莫娃、B. И. 查维雅洛娃、

B. K. 高洛包夫 合著

唐念萱、李国祥、陈适先、

陈春奎、王以璠 合译



國防工業出版社

1964

## 內容簡介

本書闡述了成批生產時金屬板材和型材零件的機械化成形工藝過程，以及用滾軸彎曲板材、用滾輪彎曲型材、板材拉形、型材拉彎和若干種拉伸、拉深的工藝過程。在書中對各種冷沖壓方法的基本塑性變形理論及所用設備也作了相應的介紹。

本書可供工廠技術人員在選擇工藝方法、編制工藝過程、選擇設備和設計工藝裝備時參考，也可供有關學科的教師和學生參考。

本書的主譯者是王以璠（第二章）、李國祥（第三章）、陳適先（序、第一、四章）和陳春奎（第五章）。主校者是唐念萱、陳適先和陳春奎。此外，王鑒、武厚忠和李聲遠也作了很多工作。

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВ И  
ПРОФИЛЕЙ ПРИ СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
[蘇聯] А. Н. Громова, В. И. Завьялова, В. К. Коробов  
ОБОРОНГИЗ 1960

\*

### 成批生產中板材和型材零件的製造

唐念萱、李國祥、陳適先、陳春奎、王以璠合譯

\*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印張 11<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 302 千字

1964年8月第一版 1964年8月第一次印刷 印數：0,001—2,900冊

統一書號：15034·728 定價：（科七）2.00 元

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 序言 .....                    | 5   |
| 引言 .....                    | 7   |
| 第一章 塑性变形基本原理 .....          | 11  |
| 1 力和应力 .....                | 11  |
| 2 变形的物理本质 .....             | 12  |
| 3 金属的应力状态 .....             | 17  |
| 4 应变 .....                  | 19  |
| 5 塑性变形理论中的一些基本定律 .....      | 21  |
| 体积变化定律 .....                | 21  |
| 积极变形时的形状变化定律 .....          | 23  |
| 积极变形时的应力强度与应变强度的关系定律 .....  | 23  |
| 消极变形定律 .....                | 27  |
| 6 金属冷压加工工艺的基本问题及其解决方法 ..... | 28  |
| 第二章 滚弯过程 .....              | 34  |
| 1 滚弯过程的理论基础 .....           | 34  |
| 概论 .....                    | 34  |
| 用滚轴弯曲金属板材 .....             | 39  |
| 用滚轮弯曲金属型材 .....             | 44  |
| 2 滚弯用的设备 .....              | 47  |
| 弯曲板材用的设备 .....              | 50  |
| 弯曲型材用的设备 .....              | 77  |
| 3 弯曲过程用的工艺方法和工艺装备 .....     | 101 |
| 在滚轴式机床上制造板材弯曲零件的工艺 .....    | 101 |
| 在滚轮式机床上制造型材弯曲零件的工艺 .....    | 122 |
| 第三章 拉形过程 .....              | 142 |
| 1 拉形过程的理论基础 .....           | 142 |
| 概论 .....                    | 142 |
| 金属板材的简单拉形 .....             | 146 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 金屬板材的拉伸拉形 .....                 | 164 |
| 金屬板材的环状拉形 (脹形) .....            | 168 |
| 2 拉形用的設備 .....                  | 171 |
| 用簡單拉形法制造板材零件用的拉形机 .....         | 172 |
| 用拉伸拉形法制造板材零件用的拉伸-拉形机 .....      | 179 |
| 用环状拉形(脹形)法制造板材和型材零件的脹形机 .....   | 211 |
| 型材拉弯机 .....                     | 216 |
| 3 拉形过程的工艺方法和工艺装备 .....          | 227 |
| 用簡單拉形法制造板材零件的工艺 .....           | 227 |
| 用拉伸拉形法制造板材零件的工艺 .....           | 241 |
| 用环状拉形(脹形)法制造板材零件的工艺 .....       | 251 |
| 用拉弯法制造型材零件的工艺 .....             | 259 |
| 拉形模 .....                       | 270 |
| 第四章 橡皮冲压过程 .....                | 289 |
| 1 概論 .....                      | 289 |
| 2 橡皮冲压-弯曲 .....                 | 291 |
| 过程的实质 .....                     | 291 |
| 橡皮冲压-弯曲用的設備 .....               | 292 |
| 用橡皮冲压-弯曲法制造零件用的工艺方法和工艺装备 .....  | 299 |
| 修整工作 .....                      | 316 |
| 用橡皮冲压-弯曲法所制造的零件的准确度 .....       | 317 |
| 3 在带有防皺板的剛性阳模上用橡皮进行的冲压-拉深 ..... | 324 |
| 过程的实质和規範 .....                  | 324 |
| 橡皮冲压-拉深用的設備 .....               | 326 |
| 4 在剛性阴模中用橡皮进行的冲压-拉深 .....       | 331 |
| 5 在落錘上用橡皮进行的冲压 .....            | 333 |
| 第五章 落錘冲压过程 .....                | 343 |
| 参考文献 .....                      | 361 |

## 序 言

航空结构的不断改进和完善、它在生产中的经常变更、較小的生产任务以及其极短的生产准备周期使得解决航空工业中的机械化和自动化問題大大的复杂化了。現代飞机是由几千种不同零件构成的复杂产品。这些零件是采用冲压、鑄造、机械加工和其它工艺方法制成的。

冷冲压是制造航空零件的最先进的工艺过程之一。由于它兼有高的劳动生产率和低的产品成本、高的材料利用率和高的强度性能等特点，因此在国民經济各部門中得到极为广泛的应用。

虽然冷冲压以用于大量生产最为合理，但是，它也可以成功的被用于中批、甚至小批生产。

在現代飞机制造业中，有近75%（按件号）的零件采用冷冲压的方法制造。因此，备料-冲压工作在現代飞行器的生产中占有重要的地位。

在航空零件的制造中，采用普通机械制造业中所采用的方法，即用工具模在冲床上进行冲压是不合算的；而且，要在規定的時間內制造所有的冲模，在实际上也是不可能的。

在飞机制造业中发展并广泛采用了下列制造零件的方法：如滚弯、輾边、橡皮冲压、液体冲压、拉形和落錘冲压等等。采用这些方法在工艺过程、工艺装备和設備綜合規格化的基础上，利用通用的或簡單的工艺装备以及由塑料和环氧树脂制造的工艺装备，可以在专用设备上加工出具有稳定精度的板材和型材零件。

近十年来，苏联的科学研究机构和工业企业特別注意了飞机制造业中备料-冲压工作的机械化問題。

与此同时，在国外的板料冲压工艺中也有了巨大的变革，例

如：赫福特 (Гаффорд)、維尔逊 (Версен)、薩伊尔·巴士 (Сай-рл Басс)、歇利登 (Шеридан) 及其它公司都生产了在航空工厂中广泛采用的新型设备。

在飞机制造备料-冲压工作的著作中，以 A. H. 格罗莫娃 (Громова) 的著作<sup>●</sup> 最为完整，但它出版已经超过十年了。因此，显然有必要在现在来补充和进一步发展这部著作。

在本书中叙述了主要用于飞机制造中的板材和型材零件冷冲压的理论基础和成形过程，也叙述了机械化的途径。

书中特别注意了生产过程的叙述，而在现代技术文献中，在这方面却往往缺少详尽的说明。

在塑性变形理论方面所已经取得的成就，使得能够通过理论的途径确定许多工艺过程的参数，这比利用经验数据和经验公式有着巨大的优越性。

直到最近，备料-冲压工作过程的理论基础一般还只是在专题论文、科学著作和文献中讨论，而在具有实用价值的生产技术著作中通常只引用最终的计算公式，而不详述基本假定和推导这些公式的方法。在本书中已经克服了这些缺点，并阐明了用塑性变形理论解决具体问题的方法。

本书可供在备料-冲压方面工作的专家以及大学和中专的学生阅读。

B. B. 波依佐夫教授

---

● 已有中译本——《飞机制造冷作工》；国防工业出版社 1955 年出版。——译者

## 引言

在保證所制造的零件滿足給定的技术要求的前提下，加工方法的选择必須从經濟合理性的原則出发。必須选择这样的方法，使在給定的生产规模下，消耗最少的社会必要劳动（包括活劳动以及表現在材料、設備、工具、工艺装备和动力等方面的物化劳动）。因此，在不同的具体条件下（生产任务、对零件的技术要求），最合理的生产过程也将是不同的；一种加工方法絕對优于另一种的情况是很少的。

下面举几个例子。

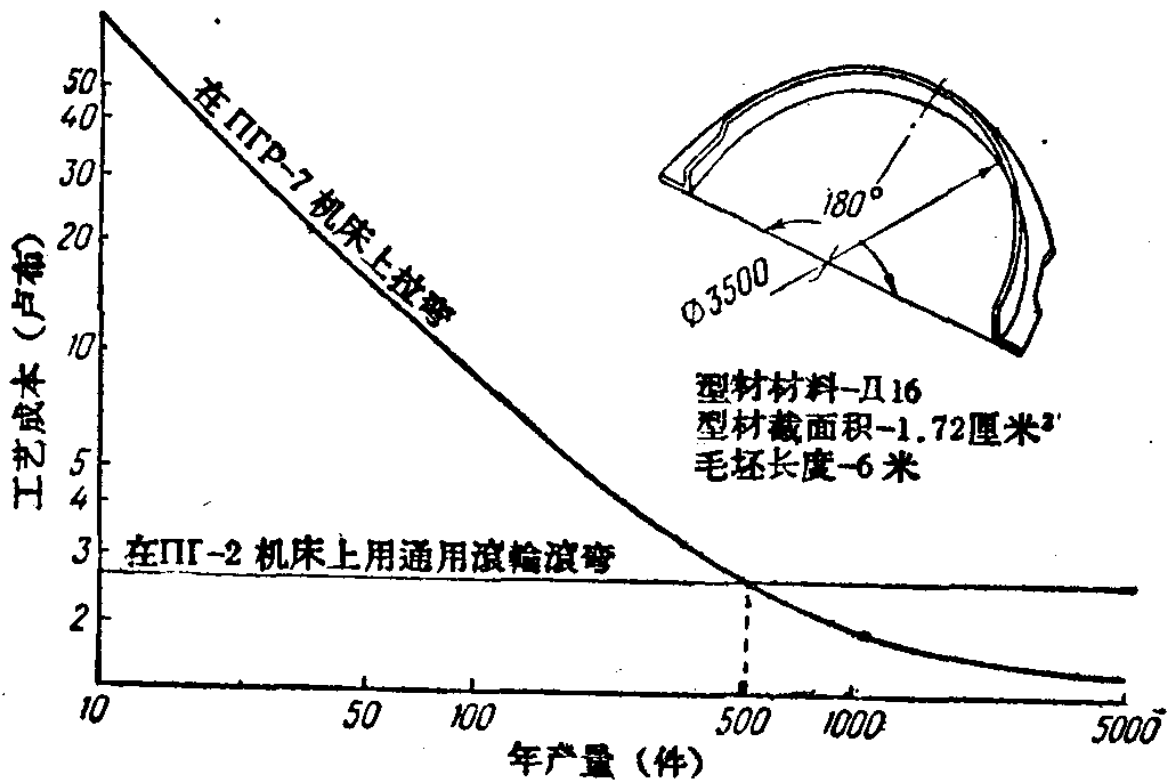


图1 型材零件用 ПГ-2型机床滚弯和用 ПГП-7 型机床拉弯制造时，工艺成本与年产量的关系。

图1所示是型材零件在二种場合下成形时，工艺成本与年产量的关系曲线；a) 在 ПГ-2 型机床上以通用滚轮弯曲成形，然后进行手工修整；б) 在 ПГП-7 型机床上分二道工序拉弯成形。由



于所消耗的原材料相同，因此沒有計入零件的材料費用。

由圖綫可知，當年產量少於 500 件時，在 ПГ-2 型機床上進行滾彎由於在工藝裝備上的耗費很小，因而在經濟上就比在 ПГР-7 型機床上拉彎更為有利。反之，當年產量大於 500 件時，則以拉彎在經濟上更為有利。

當型材零件具有另外一種尺寸和斷面形狀時，圖綫就改變了。這時，曲綫的交點將相應於另一個年產量，但是，這兩種過程在經濟上優劣的次序則仍將和前面所述的相同：在產量較小時是滾彎有利，在產量較大時則是拉彎有利。

圖 2 所示是板材零件工藝成本的圖綫。討論二種方案：а) 在“別謝”（Белле）點錘上進行錘拱，然後用輕型木質模胎檢驗；б) 在 ОП-3 型拉形機上用 ПСК 膠砂模拉形。在曲綫的繪制中已把零件的材料費用計算在內。

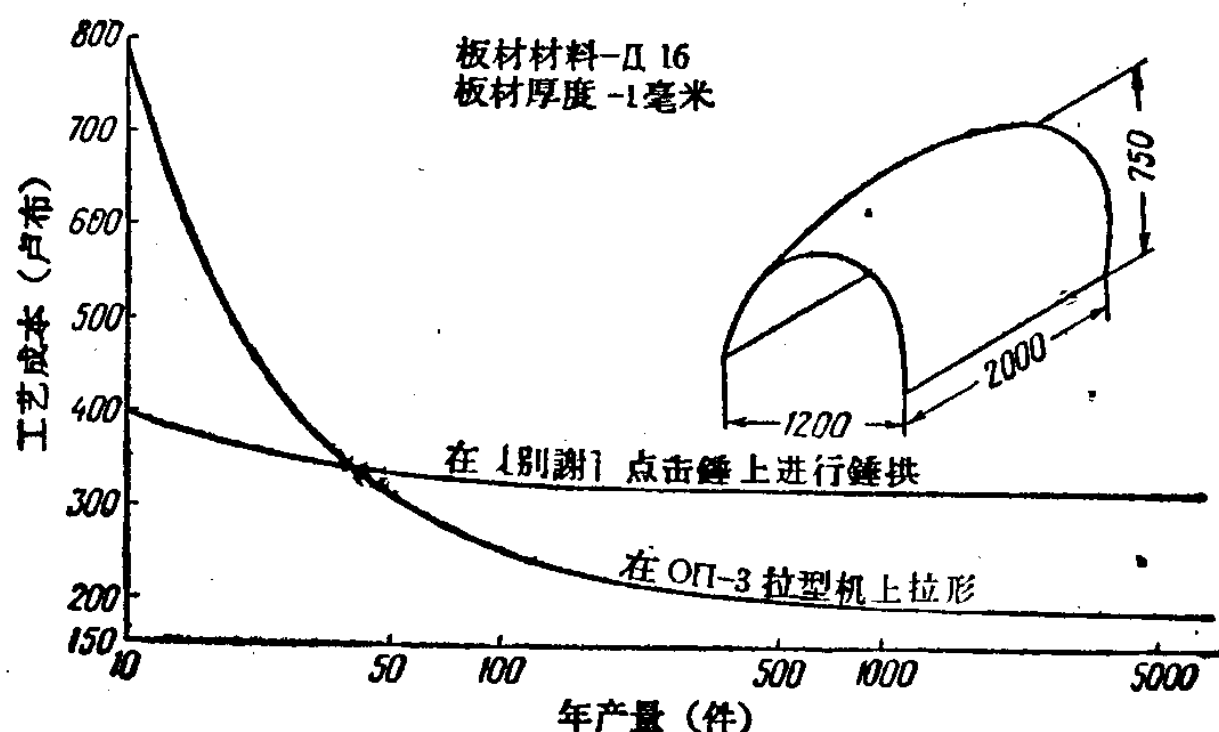


圖 2 板材零件在“別謝”點錘上進行錘拱和在 ОП-3 型拉形機上拉形時工藝成本與年產量的關係。

雖然在錘拱零件時，材料消耗少一些（例如，少 20 盧布），工藝裝備的消耗也少一些，但是當零件年產量大於 40 件時，拉形的過程在經濟上就更為有利，所製零件的表面質量也好得多。

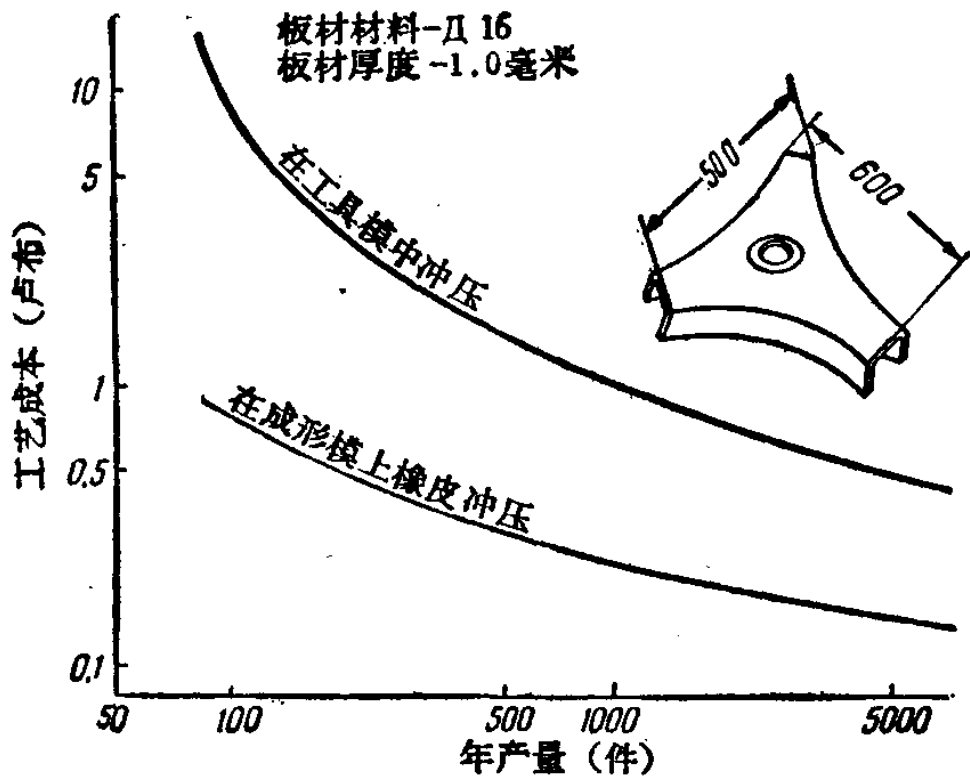


图3 制造板材零件，在工具模中冲压和在成形模上进行橡皮冲压时的工艺成本与年产量的关系。

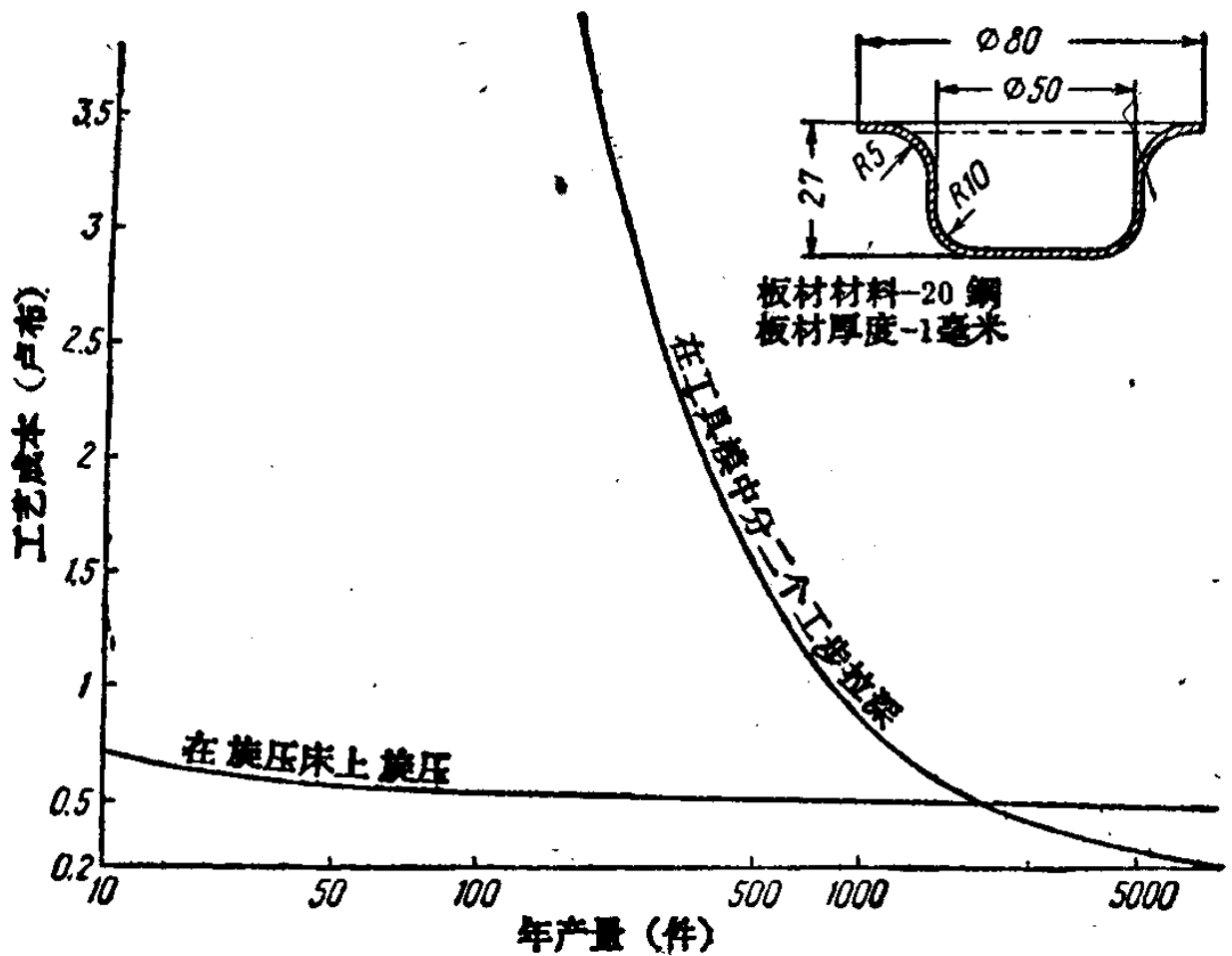


图4 制造板材零件，分二道工序在工具模中拉深和在旋压床上旋压时的工艺成本与年产量的关系。

如图 3 所示，在中批和小批生产中利用工具模冲压零件是不合理的（沒有計入材料費用）；飞机制造业中应用最广的是在成形模上用橡皮容框进行的冲压过程。

图 4 所示零件如用拉深的方法制造需要两道工步。从所得图綫可知，仅当年产量大于 2000 件时，采用工具拉深模来加工才是合算的（材料費用計算在內）。当生产任务較小时，則以在旋压床上制造更为合理；因为在旋压时可以采用比較便宜的工艺装备。以上是在制件生产了两年后所进行的統計。

生产任务是在許多可能的工艺方案中选择最合理方案的决定性因素之一。因此，在大量和大批生产中广泛采用了以型材和板材制造零件的方法（以复杂昂貴的工具体进行冲压，并采用机械化的毛料进給，卸料和輸送零件或生产过程完全自动化的装置），对于小批和成批生产来讲，特别是当生产对象經常变换时，在經濟上是不利的。

从以上所述不应认为，在成批生产中生产过程自动化和綜合机械化的問題是根本不切实际的。在相应于一定的自动化要求的情况下，驟然看来不利的条件也可能給予良好的效果。B.B. 波依佐夫教授針对成批和小批生产中的工艺过程、工艺装备和設備的全盘規格化所制訂的要求● 也应在备料-冲压工作中广泛采用。这些要求的实质在于以零件分类为基础的工艺过程典型化和工艺装备元件的标准化。后者使得在零件的成本中消耗在工艺装备上的份額得以降低。

---

● В. В. Бойцов, Комплексная нормализация элементов производственного процесса-основа дальнейшего совершенствования авиационного производства, Оборонгиз, 1958.

# 第一章 塑性变形基本原理

## 1 力和应力

物体在压力加工过程中处在外力的作用下。

沿物体体积分布的力称为体积力。体积力包括重力、惯性力和由于磁性效应在金属中产生的力。

在物体直接受载时，就会产生沿物体全部或部分表面分布的表面力。表面力可分为作用力、反作用力和摩擦力。摩擦力可能是作用力，也可能是反作用力。

作用力是由于工具机的作用而产生，并借助于相应的工具（冲模、滚轴、橡皮容框等）传给被加工的物体。

反作用力是由于物体沿作用力方向的位移受到阻碍而产生。反作用力的方向垂直于工具的工作表面，因此它的作用线不一定与作用力的作用线相重合。

图 1.1 是当上滚轴为传动轴时滚弯零件的简图。在这个情况下，反作用力  $R$  的作用线与作用力  $P$  的作用线就是不重合的。

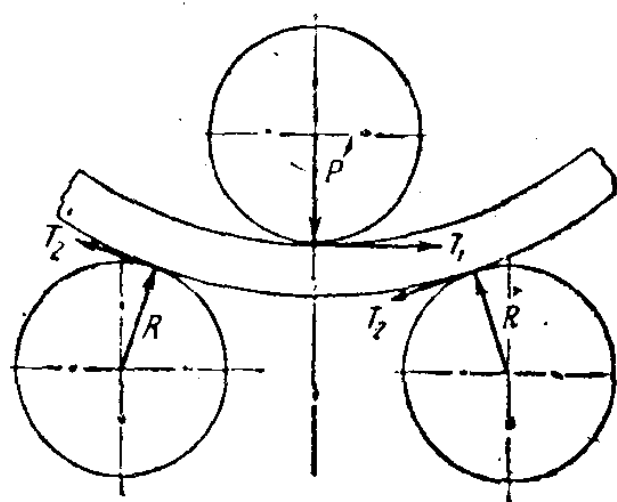


图1.1 用滚轴滚弯零件时的表面力简图（上滚轴为传动轴）。

几乎在金属压力加工的全部过程中都产生着金属材料 and 加工工具之间的摩擦力。摩擦力可能是作用力或反作用力。在上例（图1.1）中，由于上原动轴的运动而产生的摩擦力  $T_1$  是作用力（它

引起被加工零件在滾軸間的移动)，而摩擦力  $T_2$  則是反作用力。

为了与外力相平衡，在物体中呈現內力。作用在无限小单元体截面上的內力除以該单元体的截面积所得到的单位內力称为应力。应力可以用它的数值和相对于該面积的方向来表示。在一般情况下，物体上不同的点具有不同的应力（数值和方向）。

## 2 变形的物理本质

呈固态的工业金屬是由密集的单晶体所构成的多晶体。单晶体或晶粒的形状是不規則的，这是当它在形成或变形时，因相邻晶体相互作用引起的畸变而造成的。在多晶体中各个单晶体的大小有很大的差别：它的尺寸可以从宏观到微观甚至更小。

晶体是由晶胞构成的。晶胞的特性取决于原子在其中的配位。

金屬的基本晶胞有以下几种：1. 面心立方体；2. 体心立方体；3. 密排六方体；4. 四方体；5. 斜方六面体。每一种金屬在一定的溫度範圍內具有一定型式的晶格。

表 1.1 所示是在給定溫度下純金屬結晶体的基本晶胞的型式。

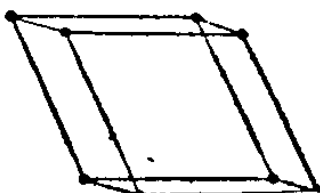
工业用金屬是由几种組元构成的合金，它也是純金屬和固溶体的混合物，固溶体是由一种合金組元溶入另一种合金組元所形成的。固溶体的晶体同样具有一定型式的晶格，其型式取决于溶入固溶体的合金組元。

当加外力于結晶体时，每个单晶体将承受力的作用；当单晶体位于表面时，則力直接由工具傳來；否則，則由相邻的晶体傳來。作用于晶体的力力图使晶体的一部分产生位移，为此它必須克服金屬原子間相互作用的內力。这时晶体的原始形状畸变，从而产生了变形。当外力停止作用后，如果所有的原子在其相互作用的內力的影响下回到原始位置，則晶体完全恢复原状。这时，变形是可恢复的或彈性的。如果原子或原子群相互間的位移相当大，





(續)

| 晶格的型式 | 基本晶胞的模型                                                                           | 金屬               | 溫度 $^{\circ}\text{C}$   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|
| 斜方六面体 |  | 鉍<br>砷<br>汞<br>銻 | 18.5<br>室溫<br>-46<br>25 |

原子占有了新的位置，卸載后晶体形状保持不变，則变形是不可回复的或塑性的。

单晶体的塑性变形可以通过二种途径：滑移和双晶（孿动）。

滑移是晶体的一个薄层对另一个薄层相对移动所造成。这个移动发展到一连串的薄层。金屬晶体的滑移是沿着一定的結晶平面和在一定的方向上进行的。在給定条件下，这个方向是原子間相互作用力所引起的抗力为最小的方向。可能的滑移方向的空間方位和数量取决于基本晶胞的型式和溫度。在不同的金屬中呈现出附加滑移平面和滑移方向的溫度也是不同的。

每个晶体具有几个呈均势的滑移方向。在力图引起变形的应力的作用方向呈最有利的配置的方向上，滑移开始产生，并且一直繼續到由于晶体平面旋轉或由于滑移的抗力增加，而在其它方向更容易产生滑移时为止。在滑移中，对进一步变形的抗力不断增加，这个現象称为强化。目前已有好几种理論来解釋强化的原因，这里我們不進行討論。

由于双晶的結果，晶体的一部分成为另一部分在鏡中的映象（图 1.2）。把晶体不同部分联系起来的对称平面称为双晶面。从力学的观点来看，双晶是一部分晶体的剪位移，这时，平行于双晶面的所有原子面，按照它和双晶面的距离，成比例地作同方向的移动。

与滑移不同的是，在双晶时晶格的位移几乎是在瞬間完成的。这时，塑性变形量也比較小。某些金屬（鉍，銻）在室溫下只能

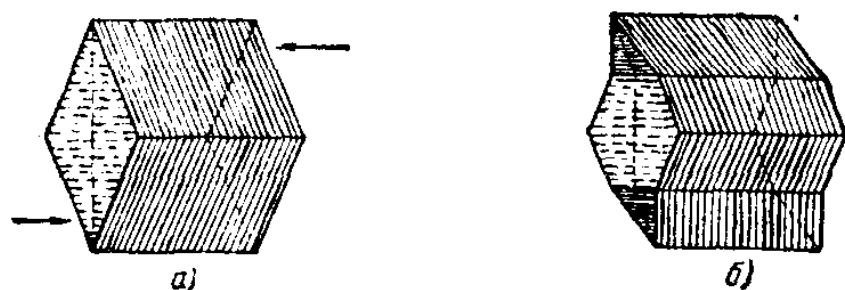


图1.2 在双晶（孪动）时的晶体形状：

$a$ —塑性变形前；  $b$ —塑性变形后。

以双晶的方式变形，但对大多数金属来讲，双晶的变形却不是主要的。如果在双晶后呈现有利于滑移的方位，则双晶可能促进塑性变形；但由于通常随双晶而伴生的是滑移的抗力增加，这样就使塑性变形的困难剧烈增加。在冲击力的作用下和在低温时呈现双晶的倾向最为强烈。

以上所述是晶体的晶内变形。除此以外，在多晶体的变形中还可以看到晶间变形。晶间变形是一部分晶粒对另一部分晶粒沿着晶粒边界作位移和旋转的现象。晶间变形不能使形状有很大的变化。因为在晶粒相互移动时，晶粒边界被破坏，在位移达到较大数值以前，多晶体就已经沿晶粒边界破坏了。

因此，工业用金属的主要变形方式就是晶内滑移。金属塑性（进行不可回复变形的能力）的大小主要取决于在晶体内实现滑移的可能性。由于滑移只能沿一定的结晶面和一定的方向产生，因而当金属具有数量较多的可能滑移的方向时，也就具有较大的塑性；这时，相对于引起滑移变形的应力方向，处在便于滑移方位的晶体数量较多。由上述可知，各部分晶体所具有的可能滑移方向的数量越多，则金属的塑性越好。

以上所述可由下列事实说明：在室温下具有六方体晶格的金属和合金（镁、铍、锌和钛等），因只具有三个可能滑移的方向，故其塑性远低于具有面心和体心晶格的金属。但这些金属在温度升高时，由于可能滑移方向的数量增加，而具有较高的塑性。

多晶体塑性变形的結果，使晶体的形状和方位变得更有秩序（組織形成），材料被强化（对进一步变形的抗力增加），而且由于变形体各部分和各晶体的变形不均匀而产生了残余应力。

当变形溫度增高时，由于出現了新的滑移面，以及随着变形过程而伴生的回复和再結晶現象，使金屬的塑性增加。

在回复时，相当大的一部分残余应力的消除，在某种程度上减少了材料的变形抗力。再結晶时，依靠晶体的变形和局部破碎的部分，使新的晶体形成和增长。再結晶的結果大大减少了变形抗力，增加了塑性，并几乎完全消除了因变形而引起的机械和物理-化学性能的改变。

如果作用力很大，塑性变形过程将以变形物体的破坏而告終。破坏可能发生在晶粒边沿（晶間破坏），也可能在晶粒本身（晶內破坏）。破坏是由显微裂紋的形成而开始的。

在出現第一串裂紋前，金屬所能經受的塑性变形程度对于金屬压力加工有着极其重大的意义。准确的了解这个极限的情况，就可以制訂出加工工序最少的工艺規程，并制造出在变形和使用过程中不破裂的零件。

如果金屬沒有經過塑性变形，那末它的晶粒具有最不同的方位，晶体对剪应力呈有利配置的机率相同，它的变形能力和变形抗力在任意方向上都相同。这种金屬被称为各向同性的金屬。

金屬在經過塑性变形（板材軋制和型材挤压等）后，晶体方位变得較有秩序，在不同的方向上材料的塑性和变形抗力也不同，这就是材料机械性能的各向异性。图 1.3 a 所示是未变形金屬的組織，图 1.3 b 所示則是变形金屬的組織。

为了实际解决金屬塑性变形問題，要考虑到金屬的全部結構性能特点（原子結構、結晶組織和各向异性）是十分复杂的。因此，在塑性理論基础中，假定实际金屬是理想化的（假定它的結構完全一致，并設想材料是各向同性——即在材料給定点沿所有的方向上都具有相同的物理-机械性能）。