

机器制造中的横轧

А.И.采里柯夫 В.С.斯米尔诺夫 主編

天津大学机械制造系压力加工教研室譯

中国工业出版社

機器製造中的精扎

（蘇聯）維也納列夫 著
（蘇聯）維也納列夫 著
（蘇聯）維也納列夫 著

中國工業出版社

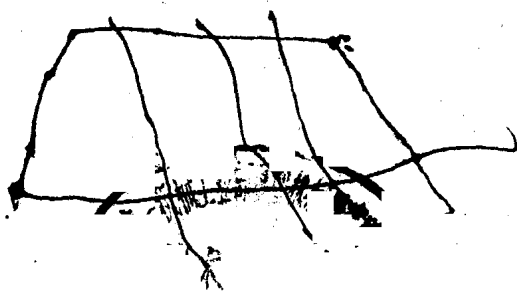
机器制造中的横轧

В.С. 斯米尔诺夫 В.П. 阿尼西福罗夫 М.В. 华西里齐柯夫

С.П. 格拉诺夫斯基 И.И. 卡赞斯卡娅 А.Д. 庫茲明

Н.В. 密哈夫 И.С. 泊別金 合著

天津大学机械制造系压力加工教研室译



中国工业出版社

本书叙述横向和纵向螺旋轧制的理论、轧制力、力矩和功率的计算方法，以及介绍用这种方法轧制许多经济断面的生产工艺。

这是一本理论和实验的综合著作，也是苏联机器制造厂和冶金厂在生产中掌握横向和纵向螺旋轧制的经验。可供金属压力加工部门中的工程技术人员使用。

全书由天津大学胡传頌翻译，由张程勇校第一篇，刘维馨校第二、三、四篇，并请北京钢铁学院胡正寰对全书进行了校订。

248/12

А.И.Целиков В.С.Смирнов 主编
ПОПЕРЕЧНАЯ ПРОКАТКА В МАШИНОСТРОЕНИИ
МАШГИЗ 1957

机器制造中的横轧

天津大学机械制造系压力加工教研室译

机械工业出版社编辑部编辑（北京苏州胡同141号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路70号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $11\frac{1}{2}$ ·插页1·字数300,000

1964年1月北京第一版·1964年1月北京第一次印刷

印数0001—2,430·定价（10—6）1.80元

统一书号：15165·2359（一机-492）

目 次

緒言	1
----	---

第一篇 橫向螺旋軋制的基本理論

第一章 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制圓柱體時的變形和 應力狀態	3
§1 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制圓柱體時的變形和應力狀態	3
§2 毛坯與軋輥接觸表面尺寸的確定	11
§3 毛坯和軋輥接觸表面的極限寬度	13
§4 橫軋的極限壓縮量	17
§5 光軋橫軋的變形和應力狀態	20
§6 孔型軋輥橫軋的變形和應力狀態	27
§7 橫向螺旋軋制的變形和應力狀態	30
§8 穿孔的變形和應力狀態	33
第二章 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制圓柱體時，根據實驗 數據所得的基本規律	36
§1 鍛造圓柱體	36
§2 光軋橫軋實心物體	43
§3 光軋橫軋空心物體	66
§4 孔型軋輥中的橫軋	71
§5 錐軋的橫向螺旋軋制	76
§6 螺旋孔型的橫向螺旋軋制	81
§7 三軋軋機的軋制	95
§8 試驗資料的比較	98
第三章 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制實心圓柱體時應力 狀態問題的解析解法	101
§1 問題的提出	101
§2 實心物體在極座標上的平面問題	103

§ 3	受工具直接作用区内应力的边界条件及公式	108
§ 4	不受工具直接作用区内的边界条件	113
§ 5	临界半径	119
§ 6	横轧时修正的应力的边界条件与公式	121
§ 7	锻造时应力状态的补充假设	130
§ 8	带张力时横向螺旋轧制的应力状态	132
§ 9	光辊横轧时毛坯变形的计算	132
§ 10	临界压缩量和空腔数值的确定	133
第四章	横轧与斜轧空心物体时应力状态问题的解析解法	136
§ 1	问题的提出	136
§ 2	空心物体在极坐标内的平面问题	137
§ 3	无心棒轧制空心物体时求在轧辊作用区内应力的边界条件及公式	138
§ 4	从三向不等的拉应力状态过渡到因压缩而变粗的条件; 内外直径比的临界值	147
§ 5	无心棒轧制薄壁物体时决定应力的边界条件及其公式 (简化的理论)	151
§ 6	在心棒上轧制薄壁物体时决定应力的边界条件及公式	154
§ 7	轧制特别薄的空心物体时决定应力的边界条件及公式	159

第二篇 螺旋孔型的轧制

第五章	螺旋孔型轧制的工艺过程和設備	166
§ 1	轴承鋼球轧机	166
§ 2	球磨机的鋼球轧机	170
§ 3	轴承鋼球的轧制	183
§ 4	轧制鋼球的螺旋孔型轧辊的设计	194
§ 5	球磨机鋼球的轧制	206
§ 6	鋼球的冷轧	210
§ 7	轴承中球面滚柱毛坯的轧制	218
§ 8	凸缘管坯的轧制	224
§ 9	模锻连杆毛坯的轧制	236

第六章	螺旋孔型内轧制的运动学, 轧辊上的 压力、力矩和功率	240
§1	咬入条件	240
§2	毛坯和轧辊间的滑动	243
§3	光辊横向螺旋轧制时的力和力矩	245
§4	凸稜辊横向螺旋轧制时的力和力矩	249
§5	轧球的力和力矩	262

第三篇 三辊轧机的轧制

第七章	三辊轧机的轧制设备和工艺过程	268
§1	横向螺旋周期轧制的三辊轧机	268
§2	三辊轧机的轧制工艺过程	271
§3	轧辊	280
§4	三辊轧机的轧制精度	284
第八章	三辊轧机轧制时轧辊上的压力、力矩和功率	287
§1	轧制的张力	287
§2	三辊轧机轧制时金属作用在轧辊上的压力	295
§3	轧制的力矩和功率	300
§4	三辊轧机轧制时的能量消耗	303

第四篇 圆柱齿轮的轧制

第九章	轧制齿轮的设备和工艺过程	307
§1	齿轮轧机	307
§2	齿轮轧制工艺过程的主要工序	312
§3	齿轮轧制工艺过程的主要参数	318
§4	轧制齿轮的质量	327
第十章	齿轮轧制过程的运动学、轧辊上的压力、 力矩与功率	338
§1	齿轮轧制过程的运动学	338
§2	咬入角和轧辊进给量间的关系	342
§3	轧辊和毛坯的接触面积	346

§ 4 金属作用在轧辊上的压力.....	347
§ 5 轧辊上的扭矩.....	348
§ 6 用试验方法来决定轧制齿轮的力、力矩和功率.....	351
参考文献	359

緒 言

在机器制造中采用經濟断面的軋材，可以保証結構具有最小的重量，最大的强度和刚度。因此采用經濟断面可以節約大量的金属。正如先进工厂的試驗研究表明，采用周期性的軋材作为热模鍛毛坯时，比采用一般等断面的軋材可節約20~30%的金属。

同样，采用周期性的軋材作为切削加工的毛坯，可以提高金属切削机床的生产率，減少金属損失的数量以及切削成形所需的材料总消耗。

应当指出，利用周期性的軋材代替鍛件与模鍛件作为毛坯要經濟得多。因此，在任何情况下，采用軋制肯定要比鍛造和模鍛便宜。

可以肯定，模鍛零件和由周期性軋材在金属切削机床上制成的零件，其机械性能都比等断面軋材制成的要高。这是因为，采用周期性軋材和鍛件时，可以最合理地分配金属体积，使纖維的分布更符合于零件的輪廓。从以上的說明，可見橫向和橫向螺旋軋制具有很大的意义，因为它是生产周期性軋材的方法之一，这种方法可用来制造迴轉体类零件的毛坯，然后用模鍛或切削加工的方法，制成各种不同的机器和机构的零件。

本书敘述了橫向与橫向螺旋軋制的基本理論及其工艺过程。

从1942年起苏联就特別重視橫向与橫向螺旋周期性的軋制的基本理論和工艺过程的研究。根据烏拉尔和列宁格勒工业学院所作的大量試驗，根据斯米尔諾夫 (B.С.Смирнов) 对軋制过程的理論的研究，完全和金属的塑性理論与强度理論的現代概念相符合。除上述工作外，中央机器制造与工艺科学研究院在采里柯夫 (A.И.Целиков) 的领导下，对橫向和橫向螺旋軋制設備

的結構也进行了研究。

对結構的研究还带来了対变形条件的仔細的研究，特别是軋制的压力、力矩和功率等。在實驗室和工厂的条件下进行的試驗，加深了我們对变形状态特征以及橫向和橫向螺旋軋制可能性的了解。

由于这些工作，在苏联的許多机器制造厂中制成了各种橫軋机，并且順利地工作着，在这些机器上軋制了滚动軸承鋼球的毛坯，球磨机的鋼球以及为制造各种汽車零件的周期性的軋材等。

这些軋机都是在采里柯夫指导下的中央机器制造与工艺科学研究院的工作人員的集体力量所制成的。不过有些工厂也拟訂出自己的結構，例如高尔基汽車厂的軋机。

中央机器制造与工艺科学研究院、烏拉尔工业学院及列宁格勒工业学院的工作也促使橫向螺旋軋制在黑色冶金企业中，特别是无縫鋼管厂中，研究出新的結構和掌握新的工艺过程。

应当承认，由于掌握了各种周期性軋材的生产、制造了专用的軋机，軋材的品种增加了，因而現在需要对軋制的研究，不仅是冶金生产的过程，而且是机器制造的过程。

积极和迅速地掌握各种軋制方法是机器制造厂最重要的技术革新之一。

本书共分四篇，第一篇为橫向螺旋軋制的基本原理，是由斯米尔諾夫写的；第一章的§ 7 是斯米尔諾夫根据中央机器制造与工艺科学研究院的格拉諾夫斯基 (С.П.Грановский)、泊別金 (И.С.Победин)、密哈夫 (Н.В.Мехов) 的試驗資料写成的。

第二篇是螺旋孔型的軋制，由格拉諾夫斯基、泊別金和密哈夫写的，而第四章的§ 9 斯米尔諾夫也参加了。

第三篇是三輓軋机的軋制，由阿尼西福罗夫 (В.П.Анисифоров) 和卡贊斯卡娅 (И.И.Казанская) 写的。

第四篇是圓柱齒輪的軋制，由庫茲明 (А.Д.Кузьмин) 和华西里齐柯夫 (М.В.Васильчиков) 写的。

第一篇 橫向螺旋軋制的基本理論

第一章 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制

圓柱體時的變形和應力狀態

§ 1 鍛造、橫向和橫向螺旋軋制圓柱體時的 變形和應力狀態

鍛造實心圓毛坯時，每鍛擊一次後，毛坯圍繞其本身縱軸轉動一下，因此毛坯受到了徑向壓縮。每次鍛擊的壓縮量在以後稱為單位壓縮量（圖1）。若橫向鍛造時，單位壓縮量不大，則因多次連續鍛壓毛坯徑向表面，而獲得的總壓縮量達到一定數值時，毛坯軸心部份便出現裂紋，甚至出現空腔。

以Cт.5鋼的毛坯作為例子，在 $900\sim 780^{\circ}\text{C}$ 的溫度範圍內，用2%的單位壓縮量進行鍛造後，其端面和軸向斷面的外形如圖2所示。

圖中尚有5XMH鋼在 $1100\sim 850^{\circ}\text{C}$ 和Cт.5鋼在 $1040\sim 850^{\circ}\text{C}$ 時鍛造後的毛坯軸向斷面。

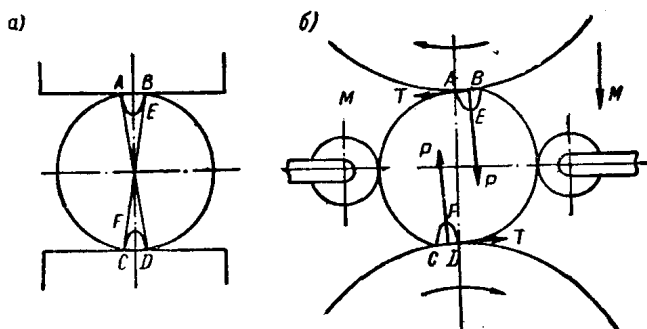
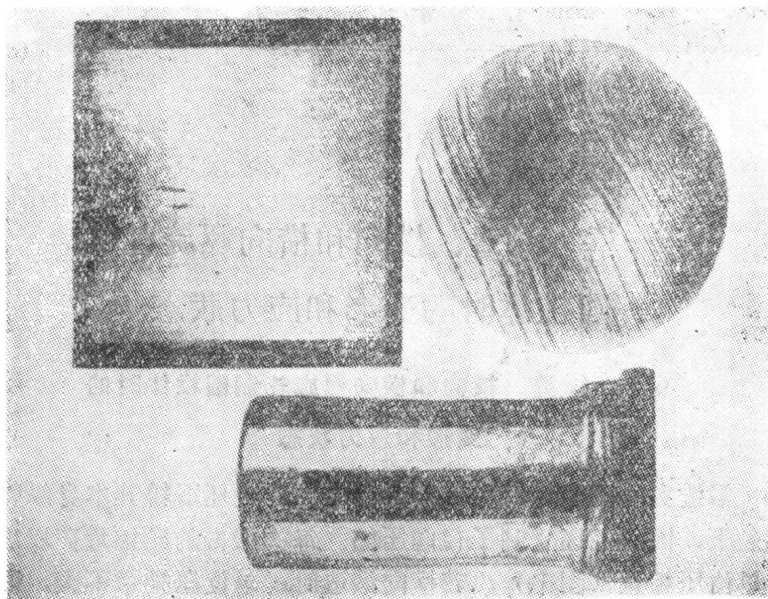


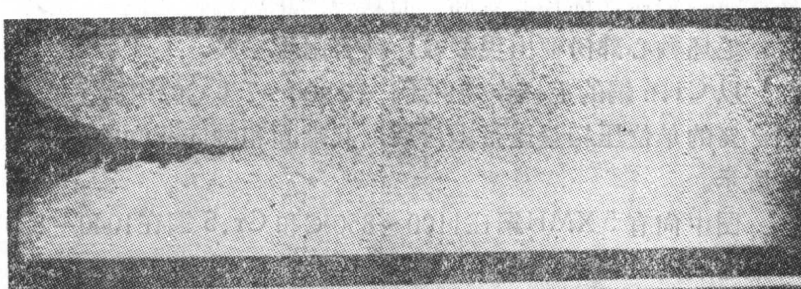
圖1 圓柱物體的鍛造(a)和橫軋(b)簡圖

P和T—法向力和切向力；M—支持導輪

a)



b)



в)

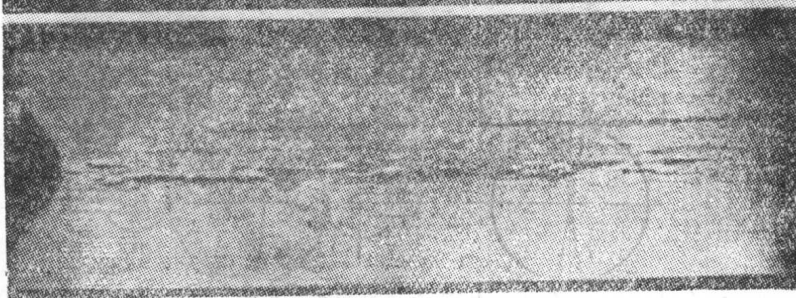


图 2 横向锻造时的裂缝

а—在 $900\sim 780^{\circ}\text{C}$ 和2%压缩量锻造后的Cr.5钢毛坯；б—在 $1100^{\circ}\sim 850^{\circ}\text{C}$ 时锻造后的5XHM钢毛坯；в—Cr.5在 $1040\sim 850^{\circ}\text{C}$ 时锻造后的Cr.5钢毛坯

我們來探討毛坯軸心區破裂的原因。

觀察圓柱體在錘或壓力機的二平抵鉄之間的變形。設受抵鉄作用部份的物體長度比其直徑大很多。變形物體由於在抵鉄接觸面的外力作用下，產生了一應力系，我們先來分析毛坯體積改變的特徵。

可以看到，抵鉄加於物體上的力是集中力，因為我們研究的鍛造情況，是很小的單位壓縮量，接觸面的寬度要比試樣的直徑小。

按照作用應力的特徵，變形物體可以分為兩部份，一部份是受抵鉄直接作用的區，另一部份是非抵鉄直接作用的區。由於外力集中的特徵，抵鉄之下的應力值最大。遠離集中力作用之處，則應力值劇減。這是因為作用力分布到比接觸面更大的面積的緣故，所以位於直接接觸面附近的這部份物體，首先開始塑性變形。由於塑性變形是剪應力造成的，所以此處的剪應力值最大。離開接觸面漸遠時，剪應力之值也漸減，因而塑性變形的程度也漸減。

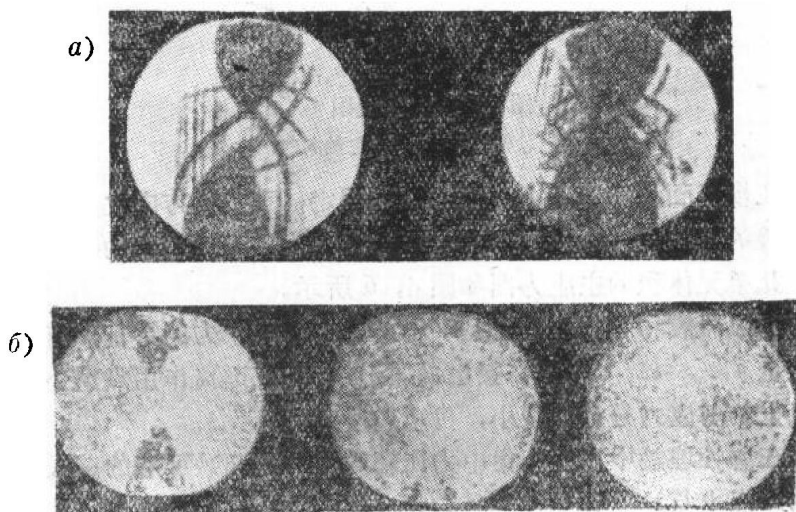


圖 3 橫向壓縮鑄鋼圓柱體時變形區的形成

a—流動區；b—再結晶試驗（Зибель）

我們在物体内拟定具有最大剪应力值的大概范围。設最大剪应力区（变形最大区）即是物体的 ABE 和 CFD 部份（图 1）。在横向鍛造圆柱体中形成的变形区和流动綫（图 3），从物理現象的性质的观点来看，它們的边界是假定得合理的。

把物体放在极坐标內，并从其中取一单元体积。根据連續介质的刚体力学的基本原理，用六个应力分量表示其应力状态（图 4, a ）。

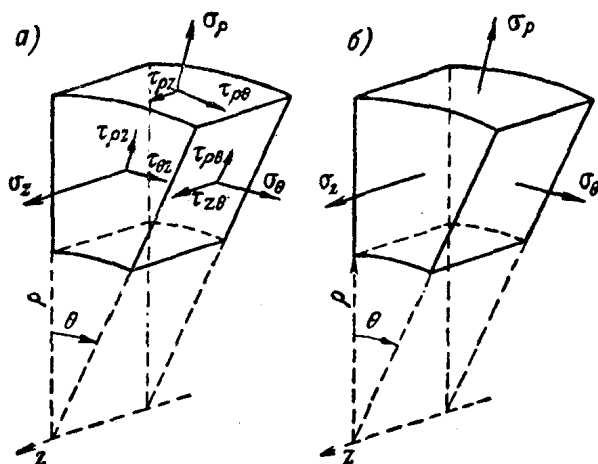


图 4 应力向量图

a —在一般軸向內； b —在主軸向內

在横断面的任一点上，若近似地假定，三主軸方向之一与毛坯軸綫的方向相重合，其余二主軸均在垂直于毛坯軸綫的平面之內，此单元体积的主应力图如图 4, b 所示。

上述假設和下面的推論是一样的。由于集中力的特征，剪应力分量 $\tau_{\rho\theta}$ 、 $\tau_{\theta z}$ 、 $\tau_{z\rho}$ 是在接触面附近，而在远离作用点之处，各点上的剪应力分量都很小，可以忽略不計。

在弹性理論中用两个集中力压縮圆盘的問題是可解的。假設在接触点上与比压有一定关系的径向应力，具有一极限值，其物理意义与弹性問題相符合，則可用上述弹性問題的結果来鑑定鍛造圆柱体时外力的应力特征。

根据这一点，外力作用在毛坯内的径向应力 σ_r 可用图形 1 ~ 7 表示之（图 5）。

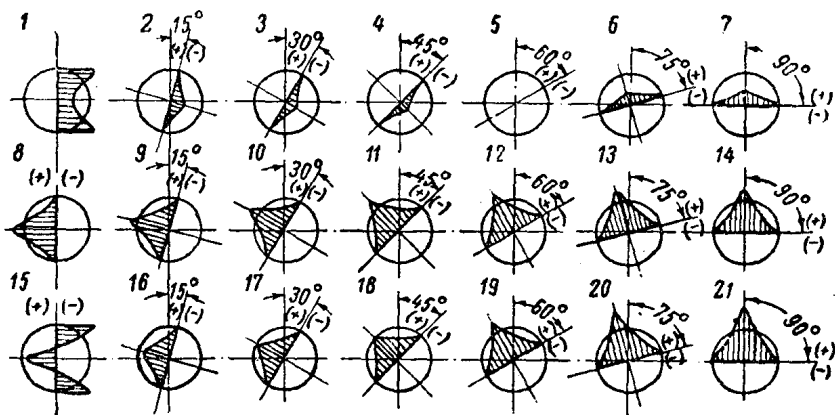


图 5 锻造时的径向应力图

1 ~ 7 — 外力的应力；8 ~ 14 — 不均匀变形的应力；
15 ~ 21 — 工作应力

当多次连续的锻击毛坯达到一圈或几圈之后，由于直径方向的不均匀变形，在毛坯内产生了径向拉应力。这种不均匀变形及其应力决定于集中载荷的特征。在接触点上这应力最大，而离开接触点渐远则迅速减小。实际上，我们可以用许多同心的圆筒体来代表一物体。每个外圆筒体是在内圆筒体上锻造，如似在芯棒上锻造一样。因此在周边上剪应力值最大，外层壁厚的变形也比内层的变形大很多，外层的圆筒直径也比内层的增加更大。在实际上内外圆筒没有联接的情况下就会发生这样的过程，在锻造时发生分层（图 6）。但在实际锻造条件下，由于毛坯是实心的，所以不会裂成环状。可是实心体内有裂开的趋势，因此在物体之内产生了径向拉应力。

上述应力发生在二抵铁的压应力作用区之外（图 5，图形 5 ~ 7）。这应力在二次锻击之间仅部份减弱。当抵铁之外的金属颗粒在抵铁的压应力（图 5，图形 1 ~ 4）作用区内时，在不均匀变

形的径向拉应力作用下，其径向拉应力上要加上抵鉄的径向压应力。

由于横断面上残余变形的分布是不均匀的，按照静力学的条件，不均匀变形的径向拉应力在周边上为零，而在軸心区則增到最大（图5，图形8~14）。

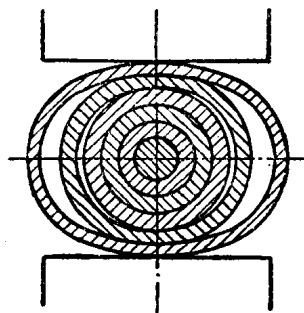


图6 小单位压缩量鍛造时坯料的分层

随着径向总压缩量的增加（随着毛坯轉数的增加），不均匀变形的径向拉应力也增加，有时甚至超过了毛坯中心内的外力的压应力值。

如众所周知，在加工过程中实际的工作应力是外力和不均匀变形的应力的代数和（图5，图形15~21）。

这样，当径向压缩量达到相当数值后，虽然有抵鉄作用的压应力，毛坯中心区仍会发生径向拉应力。

根据所选单元面积的方向不同，其应力值不同，但符号仍相同。虽然有压缩的外载荷，物体中心的应力总是拉应力。

同心的外层扩展不仅其直径有改变，而且长度也改变。在鍛造时外层的厚度压缩变薄，同时毛坯的外径减小，所以同心的外层长度就增大了，因此毛坯外层的长度要比原来的长些（延伸）。外环厚度的减小最大，因之毛坯外形的延伸最大。另一方面，若毛坯軸心区的径向拉应力很大，則在此拉应力作用下，軸心区的单元圆柱体将变粗，而单元圆柱体的变粗是靠軸向长度的减小。因为毛坯中心区的径向拉应力很大，所以中心区圆柱体的长度缩短的趋势最大。結果，在鍛造过程中毛坯端面具碗状形。

比較长物体与短物体的变形，在外层区和軸心区内順着軸綫位移的体积之比是不同的。在短物体上順着軸綫流动的金属在外层，但不能克服在軸心区内被拉縮的趋势（长度縮短），在实际中是可以观察到的。反之，在长物体上，在外层順着軸綫流动的金属很多，它能带动軸心区的金属也順着軸綫流动。所以长物体

內的軸心区虽然有拉縮的趋势，但是它被外层順着軸綫流动的金属克服了，因此軸心区的长度增加了。

由此可知，毛坯的軸向和径向变形是不等的，而且变形方向是改变的。

順着軸綫剧烈伸长的物体外层，拉住了要縮短的毛坯中心。后者抵抗着外层的作用，所以軸心区内就发生了軸向拉应力，而其反作用在外层內就发生了压应力。順着物体軸綫的延伸是在外层最大，而拉縮的趋势則在横断面中心为最大。所以在外层的軸向压应力具有最大值，而在物体横断面的中心具有最大的軸向拉应力（图7, a）。

在抵鉄直接作用区内，单元环受到压缩。若被压缩部份的顆粒与物体的其余部份无联接时，那么这部份的顆粒可以自由延

伸。但由于顆粒之間有联接，单元环未压缩部份将阻止其延伸。因此物体中心受到切向拉应力，而外层則为切向压应力。由于外环的厚度比內环压缩得大，所以最大的切向压应力在物体外层，而最大的切向拉应力在物体中心（图7, б）。

因此，在加工时毛坯中心三个主軸方向都受到拉应力的作用，所以金属处于三向不等拉的应力状态。

按照总压缩量增长的程度（总压缩量是每次鍛击微小单元压量的結果）中心区内拉应力之差将逐渐减小，最后将小于金属当时的屈伏极限。此时中心区便无塑性变形，而仅有弹性变形。

在外层內仍有塑性变形，因此中心区的拉应力将继续增加。当其中最大的拉应力等于断裂极限 R_σ 时，物体中心便发生破坏。

應該再次強調，在鍛造过程中上述应力状态的特征不是立刻

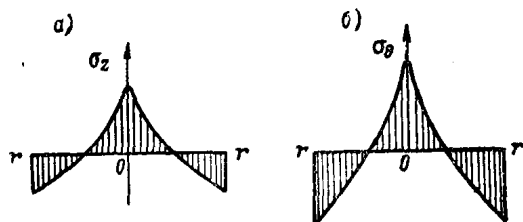


图 7 应力图

a—軸向应力；б—切向应力