

鋼 的 挤 压

GANG DE JI YA

〔苏〕Л. В. 普罗佐罗夫 著

机械工业出版社

鋼 的 挤 压

〔苏〕Л. В. 普罗佐罗夫 著

韩 风 朱道生 程钟林 译



机 械 工 业 出 版 社

本书对挤压时金属的流动情况进行了较详细的理论分析，系统地介绍了有关钢的挤压的一些试验研究成果，推荐了挤压工艺过程、钢挤压用的润滑剂、工具与设备的结构。

本书对象为压力加工方面工作的工程师与技术人员，也可供挤压专业的教学人员参考。

参加本书翻译工作的有韩风、朱道生、程钟林三位同志。韩风译绪论、第一、二、五、八章及结束语；朱道生译第三、四章；程钟林译第六、七、九章。全书由俞云煥同志校订。

Л. В. Прозоров
ПРЕССОВАНИЕ СТАЛИ
МАШГИЗ 1956

(根据苏联国立机器制造科技书出版社一九五六年版译出)

* * *

钢的挤压

〔苏〕Л. В. 普罗佐罗夫 著
韩 风 朱道生 程钟林 译

*

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同 141 号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经销

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $8 \frac{5}{8}$ · 插页 1 · 字数 221 千字

1966 年 5 月北京第一版·1966 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—3,800 · 定价(科六) 1.30 元

*

统一书号: 15033 · 3940

目 录

绪论	1
第一章 关于挤压时金属的流动	7
第二章 根据金属粘性-塑性流动假设来分析挤压过程	25
在容器内金属的流动	31
在凹模内金属的流动	36
第三章 挤压时金属流动的试验研究方法	46
挤压过程的一些模拟条件	46
试验研究用的设备与仪器	57
第四章 挤压时金属流动的试验研究	72
挤压时的应力状态	72
挤压时工具形状对流动图与挤压力变化曲线的影响	79
挤压时变形程度对流动图和挤压力变化曲线的影响	97
挤压时变形速度和温度对金属流动情况和挤压力变化曲线的影响	108
第五章 挤压用的润滑剂	117
润滑剂性能的确定方法和对润滑剂的要求	118
钢挤压用的润滑剂	124
有色金属挤压用的润滑剂	149
第六章 挤压件的质量	152
材料的组织和性能	152
挤压件的表面质量	172
第七章 挤压工艺与挤压工具的结构	179
冲头装置 毛坯的穿孔	179
容器	195
第八章 工具零件的结构及材料	204
凹模	209

IV

内套	219
中间套筒	220
管子心轴	220
冲头的头部	224
冲头的杆部	226
去除制件上的挤余用的冲子 冲毛坯中心孔的冲子	226
容器壳、支承板和工具的其他零件	227
第九章 钢和难熔合金的挤压设备	228
挤压钢和难熔合金的棒材、型材和管材的挤压机	228
挤压钢管用的专用机械压力机	229
挤压钢和难熔合金制件时,对通用机械压力机的要求	239
水压机	244
切割毛坯的设备	253
冲穿毛坯中心孔用的压力机	255
毛坯的加热设备	258
挤压件的加工设备	265
结束语	268
参考文献	270

緒 論

在压力加工时，金属从封闭的容积内通过孔（凹模）流出而得到制件，这种压力加工的过程称为挤压。

挤压是以两种方法来实现的：正挤压与反挤压。

在正挤压时（图 1 a, б, в），金属被冲头顶着，整个毛坯朝着紧固在容器底部的凹模方向进行流动。

在反挤压时（图 1 г, д），毛坯保持不动，金属由于凹模在容器内朝着毛坯移动的结果而产生流动。

在用这两种方法挤压时，挤压制件横截面的形状与尺寸决定于金属流动所通过的孔的尺寸与形状。因此，为了得到实心截面的制件，凹模的孔要给予相应的形状与尺寸。

为了得到空心制件（管子），在凹模的孔内插入心轴。在这种情况下，心轴与凹模之间的间隙的形状与尺寸决定着制件的形状与尺寸。

在挤压管子的生产中，利用了两种方法来形成环形间隙。在第一种方法中，管子心轴的长度较大，不但穿过凹模而且穿过整个毛坯（图 1 б, д）。在第二种方法中，环形间隙的形成借助短的心轴来达到，心轴被直接紧固在凹模的专门的桥架上或者与凹模做成一个整体（图 1 в）。

用高变形抗力的材料做成的管子，只能利用第一种形成环形间隙的方法在凹模中挤压。根据被加工合金的性质，毛坯的中心孔或是事先做出或是在挤压的第一阶段用管子心轴本身冲出。

利用第二种环形间隙形成的方法，当毛坯顶向凹模的时候，金属流入夹持心轴的桥架的孔（一个或者几个）中。在桥架的下面金属流包围着管子心轴并熔焊成管子。

因为利用第二种方法挤压得到优质管子的必要条件是保证变

形金属的熔焊条件, 这种方法就不可能采用润滑剂。为此, 它只能用来挤压温度与变形抗力比较不高的材料 (例如, 用于铝合金)。

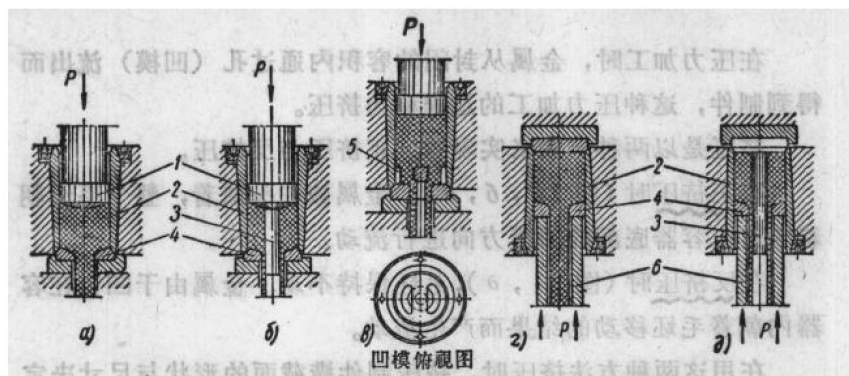


图1 挤压简图:

α —正挤压棒料; δ —正挤压管材; β —通过具有桥架(舌)的凹模正挤压管材; γ —反挤压棒料; θ —反挤压管材;
1—凸模; 2—容器; 3—管子心轴; 4—凹模; 5—带有管子心轴的桥架; 6—冲头。

由于挤压过程具有金属流动的特性, 采用挤压方法可以制造形状非常复杂的制件, 在许多情况下, 这些制件是用其它压力加工方法(例如轧制方法)做不出来的(图2与3)。

挤压过程还具有很大的灵活性。在现有的挤压装备上, 只要更换挤压模具的个别零件(挤压棒料时——凹模, 挤压管子时——凹模与管子心轴), 就可以从制造一种制件转变为制造另一种制件。从一种制件变到另一种制件时,

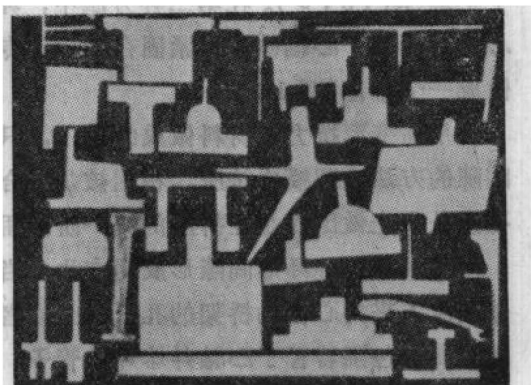


图2 用有色金属挤压的型材。

改制工具来装备加工过程是这样的简单与迅速，因此挤压方法对于小批生产制件是经济而合理的，甚至当制件形状能用其它压力加工方法做出来时也是如此。

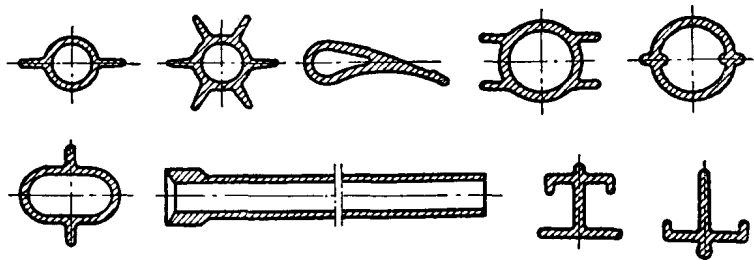


图3 挤压的钢质型材与管材。

挤压过程特具的应力状态为各向不均匀的压缩。由于工具形状、摩擦力的影响与变形金属性能的不均匀性所确定的外作用力的特性，在金属内除了压应力以外，还产生附加的剪应力。但是研究与生产经验指出，在采用降低摩擦力与材料性能不均匀性的措施及形状合适的工具后，可使挤压具有比其他压力加工方法（例如自由锻或轧制）更为有利的塑性条件。由于这样，除了能挤压高工艺性的合金外，还可以挤压低工艺性的，在某些情况下，甚至能挤压塑性极低，其他压力加工方法一般不能加工的合金。

经验还指出，挤压制件的表面质量与尺寸精度并不低于热轧制件，有时还要高些。

大约 50 年前，就已开始用挤压方法来生产棒料、管材与型材。

目前，有色金属及其合金的型材与管材主要用挤压方法制出。关于有色金属挤压生产的发展程度，可以从现有挤压压力机的吨位来衡量。目前工业上专用的棒材-管材挤压压力机的压力小至 300 吨，大者已达 12000 吨。

棒材与管材是用冷或热的毛坯来挤压的，挤压过程须具有高的流动压力，所以冷挤压主要用于铅与它的合金。对于强度较高

的金属与合金，冷挤压局限于制造某些形状的型材与不大截面的管材。热挤压是在这种压力加工范围内广泛推行的方法。

有色金属挤压的管材与型材的品种是很多的。除了供下步拔丝与成形等加工用的棒材-管材毛坯外，用挤压方法还可制造横截面形状与尺寸都符合于结构元件精度要求的管材与型材。

在制造整台机器时，由于利用挤压毛坯，在很大程度上缩短了时间与降低了生产费用。

挤压有色金属的型材与管材在生产中所获得的巨大成就，引起人们对这种压力加工方法的浓厚兴趣。

众所周知，在 25 年以前就进行过挤压钢管的试验。当时挤压钢管是利用挤压有色金属的低速的压力机。因为在那时没有做过任何关于钢挤压特性的专门研究，在设计工具和选取润滑剂等方面只是利用挤压有色金属范围内的已有经验。最初的试验指出，在低速压力机上挤压钢质型材与管材，利用挤压有色金属用的工具和润滑剂是不行的。由于挤压的速度低、润滑剂性质与工具形状的不合适，不能保证合适的金属流动条件，毛坯很快的冷却了，而工具相反地受热，以致连一个制件都挤压不出来。

除了长钢管的挤压试验以外，曾利用一般用途的曲柄压力机进行过实心短制件的挤压试验。试验的结果是比较成功的。由于在速度较快的压力机上挤压，挤压的时间较短，而从决定制件（例如，内燃机的汽阀）形状的工具（凹模）形状看来比较适合金属的流动，工具的寿命尚甚满意。

当时有一部分从事压力加工的专家，在少量的实验基础上认为：挤压较长的钢质型材与管材，由于工具的寿命很短，因而在实际上是不可行的。当时只是在适合每一种合金的具体条件下进行过一些有色金属的挤压试验，由此得出的一些金属流动的理论概念，并没有揭露挤压过程的一般规律性，也没有揭露钢挤压与其他难熔材料挤压的特性，反而使对钢挤压的成见加深了。因而，钢挤压过程的发展远远落后于有色金属的挤压过程。

最近 10~15 年,由于高参数蒸汽透平制造业、燃气透平制造业、仪器制造业与机器制造业中的某些部门都有很大的发展,机器与仪器上的许多零件必须使用具有高耐热强度的、耐酸的、电磁性的与其它性能的高合金钢与难熔合金来制造。

众所周知,当耐热强度或者其他物理化学性能提高时,许多合金的工艺塑性会显著地下降。某些很有使用价值的合金,在流动状态下的塑性甚至低到不能进行压力加工(例如轧制或自由锻)。由于加工低工艺塑性合金的实际需要,使钢与难熔合金的挤压过程变成有一定目的的研究课题。为了加工低塑性的合金,研究者的力量集中于探索在什么条件下才能充分发挥挤压过程的优点(即比轧制或自由锻具有更有利的塑性加工状态)。

由于研究的结果,创制并使用了挤压钢与难熔合金的专用装备。生产经验证明,钢的挤压与有色金属一样,比轧制来得优越。

除了可以用低工艺塑性的钢与难熔合金挤压生产不能轧制的型材与管材或者挤压那些用轧制所不能轧出的复杂形状的管材与型材以外,用挤压方法制造小批制件也是经济合理的。经验还表明,在制造小截面的一般结构钢的薄壁管时,采用挤压方法也是有利的。

所有这些说明钢的挤压是一种有前途的先进工艺,但是它还没有得到足够的推广。

我们研究(它的结果将在本书中阐述)的目的是想促进钢与难熔合金的挤压过程的改进,以及把它运用到工业中去。

考虑到最初试验钢管挤压时所遇到的许多困难,在本书中着重阐明外力与金属内部现象之间的关系,拟订一些提高工具寿命、改进挤压制件的质量与降低挤压力的措施。

除了过程的理论分析与挤压工艺部分以外,在本书中还写出工具结构与挤压设备的特点,为此采用了试验研究的结果与国外工厂的经验资料。

正挤压方法是对于钢和难熔合金的基本的与有前途的方法。

我们的理论和试验研究是针对这种挤压方法所特具的金属的应力与应变状态进行的。但是许多研究的成果也可以推广到反挤压的方法上去，例如，关于工具的形状与变形程度对金属流动的影响的结论等等。

第一章 关于挤压时金属的流动

在 1913 年库尔纳科夫(Н. С. Курнаков)和杰姆丘日内(С. Ф. Жемчужный)[1]曾发表过他们研究固体挤压的工作成果。

在这以前,一些杂志上也曾有过关于挤压方面的报导,但是在这些报导中只是叙述些压力机制造或金属加工企业生产实践中的个别成就。当时在这些报导中并没有阐述为这种新工艺方法奠定科学基础的研究成果。

从挤压过程的分析观点来看,在库尔纳科夫与杰姆丘日内的著作中最重要的一点是:变形材料中发生的现象与挤压的压力之间的肯定关系。

库尔纳科夫与杰姆丘日内曾指出流动方式取决于与变形材料中应力松弛有关系的过程的发展程度。当变形材料内增长的应力还没有超过材料的强度时,流动是成条状地进行,没有破坏连续性(图 4 曲线 I、II、III)。

如果在流动开始时,应力非常大,超过了材料的强度,则材料在应力最大集聚处破坏。在连续挤压时,重新出现应力集聚,材料破坏时,应力集聚又消除了(图 4 曲线 IV)。在变形材料中表示应力消除速度的常数,库尔纳科夫和杰姆丘日内称为松弛速度。

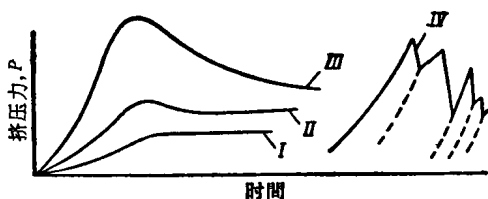


图 4 挤压时力的变化(根据库尔纳科夫与杰姆丘日内):

I、II、III—在挤压试验条件下为塑性的物质; IV—在挤压试验条件下为脆性的物质。

因为消除应力的全部过程,不仅与材料的物理化学性能及变形温度有关,而且与时间有关,所以他们肯定,对于同一种材料

在变形速度不同时，可能出现塑性的流动图或者是脆性流动图。因此，库尔纳科夫和杰姆丘日内把松弛时间 T 称为衡量物质脆性的标准。

按照库尔纳科夫和杰姆丘日内的见解， T 的倒数值 $\left(\frac{1}{T} = K\right)$ 或松弛速度表示着材料的塑性，也表示着材料保持不破坏的变形速度的最大值。

将克拉克·马克思维尔 (Кларк Максвелл) 的松弛理论运用于本过程，他们导出了计算松弛速度的公式如下：

$$K = \frac{\lg p_1 - \lg p_2}{(t_2 - t_1) \lg e},$$

式中 p_1 与 p_2 ——在曲线下降部分上经过时间 t_1 与 t_2 (秒) 后的压力。

在松弛理论的基础上，库尔纳科夫和杰姆丘日内得出下面极其重要的结论：挤压的规定压力与内摩擦系数及材料的变形速度是成比例的，也就是

$$p = \mu v$$

式中 μ ——内摩擦系数；

v ——变形速度。

库尔纳科夫和杰姆丘日内认为金属的内摩擦系数，采用什维多夫 (Ф. Н. Шведов) 的公式来计算是正确的。

$$\mu = GT + G \frac{\lambda}{v}$$

式中 G ——抗剪弹性模数；

T ——松弛时间；

λ ——抗剪弹性极限；

v ——变形速度。

库尔纳科夫和他的同事们在挤压试验的基础上，求出了许多物质的松弛速度和内摩擦系数。取得的数据与用双折射减弱法测量速度时得出的数据非常近似。双折射是在永久变形作用下的各向同性体中产生的。库尔纳科夫的方法与光学的方法不同，它的

优点在于能求出不透明材料的一些常数。

库尔纳科夫和他的同伴们是在加加林 (Гагарин) 压力机上进行他们的试验的, 他们采用固定的有机化合物、金属盐和纯金属做成的小试样进行挤压。挤压是在室温和低速下进行的。在进行试验时, 关于物质对工具的摩擦、工具的形状和变形物质的均质性对过程进行的影响没有研究。

事实上在挤压时, 特别是在高温情况下, 它们对于过程进行的影响是很大的。

下面将看到, 在同一的温度和挤压速度下, 而材料对工具的摩擦条件不同, 在毛坯内将会产生完全不同的变形分布图形。例如, 当金属对工具的摩擦很大时, 即使挤压速度很低, 松弛速度也不足以消除增长着的应力, 这时金属会受到破坏。

因此, 在研究挤压过程时, 必须同时分析作用在金属上的外力和金属内部一些现象之间的关系。这时, 库尔纳科夫和杰姆丘日内所确定的在变形金属中的内部现象的规律性将有助于挤压过程的分析。

早在挤压生产开始发展时, 本法主要用来制造铜基合金的棒料与管材, 人们就注意到在毛坯中的变形分布是极不均匀的。

什维斯卡特 (Швейсгут) [2] 研究了黄铜在高温下的挤压, 观察了在毛坯中的变形分布图形, 图形的特点是靠近冲头的毛坯中心部分受到外层金属的推挤, 并且金属的流动非常不均匀。他根据自己的试验, 假设挤压时在毛坯内形成三部分体积 (图 5), 各部分金属的流动情况如下: 在毛坯内部形成体积 V_1 的金属首先流向凹模; 在体积 V_2 内靠近容器壁的金属的流动方向与上述金属流向凹模的方向相反; 靠近冲头的体积 V_3 , 由于 V_2 金属的流入而增加, 在体积 V_1 全部流入凹模之后, 体积 V_2 开始向凹模流入, 在挤压终了时体积 V_3 才流入凹模。

什维斯卡特的这个假设, 古勃金 (С. И. Губкин) ([3]~[5]) 认为是正确的, 但是仅适用于一定的挤压条件。

在分析了挤压时外摩擦力和在毛坯截面上材料变形抗力的不均匀性对于金属流动的影响后，古勃金将变形分布区划分为三种基本类型(图6)：

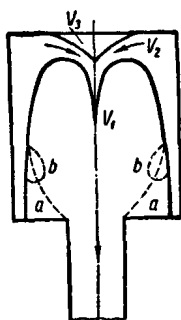


图5 挤压时在毛坯内形成的体积的示意图

(根据什維斯古特):

b —金属从体积 V_2 到体积 V_1 可能的突破处。

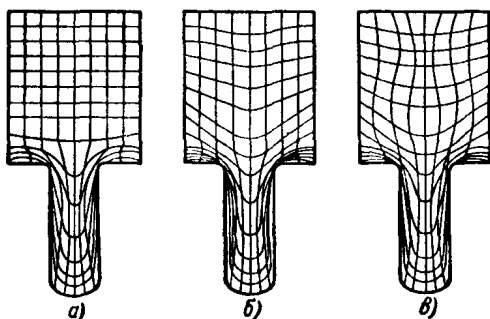


图6 挤压条件对毛坯的变形分布的影响

(根据古勃金):

a —毛坯与容器壁间的摩擦系数小，材料性质均匀； b —毛坯与容器壁间的摩擦系数大，材料性质均匀； c —毛坯与容器壁间的摩擦系数大，材料性质不均匀。

a) 变形区集中在靠近凹模处，以等于或小于容器半径的毛坯长度向冲头方向扩展。在反挤压时可以观察到这样的流动图。在正挤压时，如果金属与容器壁之间的摩擦力不大，并且毛坯截面上具有均一的性质时，古勃金认为也有可能观察到这样的流动图。

b) 变形区在毛坯的全长上扩展；这时金属的内层比外层流动得快。古勃金认为金属这样流动是产生在金属与容器壁之间的摩擦力相当大的时候。此外，还发生在毛坯截面上的温度不均匀时。

c) 在毛坯内的变形分布可使整个体积分成三个主要部分，各部分的金属流动特征各不相同。

古勃金认为，在两种情况下可能在毛坯中形成三部分体积：

1) 当毛坯的外层金属比中间部分的强度大得多时； 2) 在

毛坯与容器之间产生很大的摩擦力时。

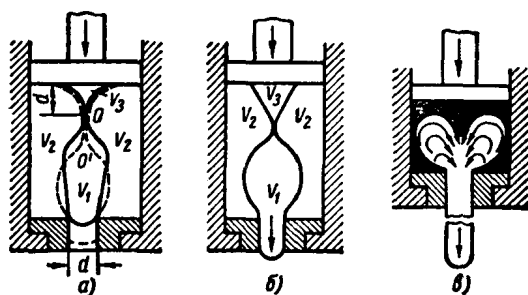


图7 挤压时在毛坯内三部分体积形成的示意图

(根据古勃金):

a —挤压开始时; b —挤压中间阶段; c —挤压终了时。

在第一种情况下, 古勃金设想三部分体积是按下面的方式形成(图7): 在锻粗时与容器接触的毛坯是比较冷的, 因此强度较高, 毛坯的外部推挤内部, 在容器壁上压应力最大的地方(图8), 推挤作用最显著, 于是在毛坯内区分出三部分不同的体积。当冲头继续向凹模方向移动时, 体积 V_3 增加, 推挤区向凹模方向移动。挤压时, 对着凹模孔的体积 V_1 内的金属首先流出。这时在体积 V_2 内的金属与体积 V_1 相反的方向流动。在体积 V_2 内的部分金属加入到体积 V_1 内, 而另一部分则扩大体积 V_3 。在挤压终了时, 体积 V_3 的高度达到最大值。

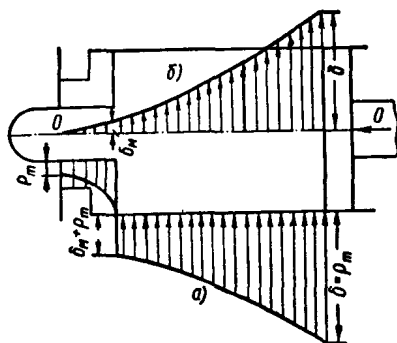


图8 挤压时在毛坯中的应力

图(根据古勃金):

a —在容器壁与毛坯之间; b —在垂直于挤压方向的毛坯截面内。

由于毛坯与容器壁间存在较大的摩擦力而将毛坯体积区分为三部分的进程, 古勃金没有说明。古勃金认为从所观察到的靠近

凸模的毛坯内座标网的推挤, 和什维斯卡特所作的毛坯挤压试验 (即在毛坯上塞着带标号的钢柱 (图 9), 结果位在凹模附近的钢柱却是最后流进凹模, 什维斯卡特和古勃金都用这试验来论证在体积 V_1 与 V_2 中存在着金属的对流), 都可以证实在毛坯内按变形特征不同而形成不同部分的假设的正确性。

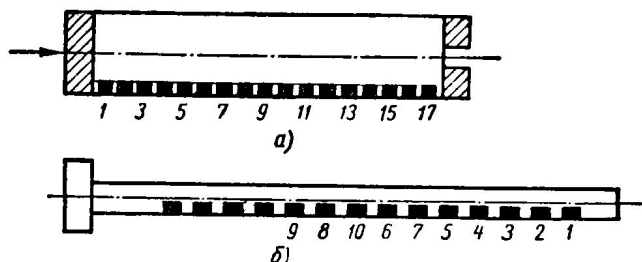


图 9 标号钢柱的分布 (根据什维斯卡特):

a —在毛坯中; b —在棒料上。

必须指出, 古勃金用座标网畸变来表现的流动图以及变形分布区的分类, 曾为许多研究者阐明过。

例如, 温克尔 (Унkelь) [6] 和札克斯 (Закс) [7] 采用磨光过的容器在室温下研究锡的流动, 曾观察到变形区域是集中在凹模附近 (图 10)。而当采用表面粗糙的容器与不用润滑剂来挤压锡时, 变形区则会扩展到毛坯的全长上 (图 11)。

古勃金、札克斯和其他研究者观察到: 在毛坯与容器壁之间的摩擦力适当的条件下挤压黄铜, 流动图的特征只是在毛坯全长上的座标网的横线向

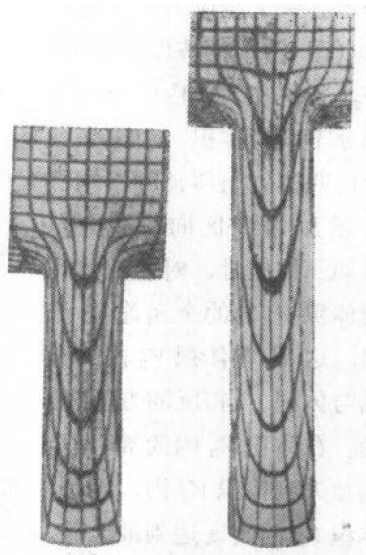


图 10 挤压锡时采用磨光的容器与润滑剂的流动图 (根据札克斯)。