

冷挤压技术

阮雪榆 萧文斌 徐祖祿 編著

上海科学技术出版社

冷 挤 压 技 术

阮雪榆 蕭文斌 徐祖祿 編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书主要介紹冷挤压的理論基础、工艺过程、模具結構和技术装备等四个方面,并以鋼零件的冷挤压为重点,詳細討論了鋼零件、有色金属和凹模型腔等三項不同要求的冷挤压技术。

本书供从事冷挤压的技术人員及有关专业的大专学校师生参考。

冷 挤 压 技 术

阮雪榆 蕭文斌 徐祖祿 編著

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可证出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 10 26/32 插頁 2 排版字数 290,000
1963 年 6 月第 1 版 1963 年 6 月第 1 次印刷 印数 1—3,000

統一书号 15119·1731 定价(十二) 1.60 元

序 言

冷挤压是一种先进的压力加工工艺，它在生产中的应用范围已经日益广泛。为了适应生产上的实际需要，作者根据国内、外有关文献，结合从事研究工作中的收获与体会，编成本书。

本书的内容包括冷挤压理论、冷挤压工艺、冷挤压模具及冷挤压设备四个方面，详细讨论了钢零件的冷挤压、有色金属零件的冷挤压以及模具型腔的冷挤压技术，并以钢零件的冷挤压作为重点。

参加本书编著工作的有阮雪榆、萧文斌、徐祖祿。阮雪榆编写第一、三、四、五、六、七、八、九、十、十二各章；萧文斌编写第二、十一、十五各章；徐祖祿编写第十三、十四两章。

在编写过程中，作者得到机械科学研究院材料研究所刘健飞、上海机床厂周勤之、叶康山、上海汽轮机厂吴瑞昶、中国科学院上海机械制造研究所蒋达等各位工程师的大力支持与帮助，特此表示深切的谢意！作者还向为本书绘制插图的上海华通开关厂第六车间设计组的各位同志致谢！

由于水平所限，谬误之处在所难免，恳切希望各方面予以批评与指正。

作 者 于上海交通大学

1962年10月

主要符号

A ——变形功	φ_F ——对数断面变形
F ——断面积	φ_J ——对数主变形
K_f ——变形抗力	φ_s ——对数厚度变形
P ——变形力	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——主应力
p ——单位压力	σ_b ——强度极限
s ——壁厚	σ_s ——屈服极限
t ——温度($^{\circ}\text{C}$)	μ ——摩擦系数
T ——绝对温度($^{\circ}\text{K}$)	μ_n ——泊桑比
V_n ——体积	η_F ——变形效率
ψ ——断面收缩率	ε ——相对伸长
$\varphi_b, \varphi_l, \varphi_n$ ——对数变形	ε_F ——挤压断面收缩率
φ_d ——对数直径变形	

目 录

序 言

主要符号

第一章 緒論	1
§ 1 冷挤压的概念	1
§ 2 冷挤压的发展	4
§ 3 冷挤压的优越性	6
§ 4 冷挤压与其他工艺的比较	7
§ 5 冷挤压技术的要点	12
第二章 冷挤压的理论基础	14
§ 6 金属塑性变形的机构	14
§ 7 金属的冷作硬化	21
§ 8 塑性变形基本规律的应用	23
§ 9 主应力状态对塑性变形的影响	28
§ 10 挤压时金属的流动	34
§ 11 挤压变形的阶段	47
§ 12 正挤压变形力的分析	51
§ 13 反挤压变形力的分析	58
第三章 鋼零件冷挤压的挤压力	61
§ 14 变形程度对变形力与变形功的影响	61
§ 15 模具几何形状的影响	71
§ 16 挤压速度的影响	73
§ 17 挤压力的計算	78
第四章 鋼零件冷挤压的材料	92
§ 18 冷挤压鋼材的特性	92
§ 19 化学成份对冷挤压性能的影响	93
§ 20 冶炼方法对冷挤压性能的影响	99
§ 21 冷挤压鋼材的金相要求	100

§ 22	冷挤压鋼材的热处理	103
§ 23	冷挤压鋼材的檢驗	106
§ 24	冷挤压对鋼材机械性能的影响	108
§ 25	冷挤压鋼零件的纖維状态	110
第五章	鋼零件冷挤压的工艺性	116
§ 26	零件的批量	116
§ 27	零件的形状与尺寸	117
§ 28	零件的精度与公差	122
§ 29	零件的表面质量	127
第六章	鋼零件冷挤压的工艺过程	129
§ 30	毛坯的形状与尺寸	129
§ 31	毛坯的制备	130
§ 32	典型的冷挤压工序图形	133
§ 33	变形量的核算	157
§ 34	工艺規程示例	157
§ 35	冷挤压的結束工序	169
§ 36	冷挤压鋼零件示例	170
第七章	鋼毛坯的表面处理	177
§ 37	去除表面缺陷	177
§ 38	清洁、去脂、濯洗	178
§ 39	去除表面氧化层	180
§ 40	磷酸盐处理	182
§ 41	潤滑处理	196
§ 42	表面处理程序	199
§ 43	表面处理設備	200
第八章	鋼零件冷挤压的模具結構	205
§ 44	反挤压模的典型結構	205
§ 45	正挤压模的典型結構	211
§ 46	复合挤压模的典型結構	214
§ 47	正挤压空心件的模具	215
§ 48	反挤压球形表面的模具	216
§ 49	变薄拉延模的典型結構	217

§ 50. 挤压六角外形的典型模具	218
§ 51 模具的导向装置	219
第九章 鋼零件冷挤压模具的預应力問題	222
§ 52 凹模受力状态的分析	223
§ 53 組合凹模施加預应力的方法	233
第十章 鋼零件冷挤压的模具材料	238
§ 54 模具鋼的选用	238
§ 55 制造模具工作部分的硬质合金	256
§ 56 模具鋼的质量	258
§ 57 模具鋼的最小加工余量	263
第十一章 冷挤压的压力机	264
§ 58 冷挤压工艺对压力机的要求	264
§ 59 机械压力机	265
§ 60 液压机	274
§ 61 专用冷挤压压力机	275
第十二章 鋼零件冷挤压的退火設備	279
§ 62 退火設備的要求	279
§ 63 退火設備的类型	282
第十三章 有色金属零件的冷挤压	289
§ 11 挤压变形的阶段	47
§ 12 正挤压变形力的分析	51
§ 13 反挤压变形力的分析	58
第三章 鋼零件冷挤压的挤压力	61
§ 14 变形程度对变形力与变形功的影响	61
§ 15 模具几何形状的影响	71
§ 16 挤压速度的影响	73
§ 17 挤压力的計算	78
第四章 鋼零件冷挤压的材料	92
§ 18 冷挤压鋼材的特性	92
§ 19 化学成份对冷挤压性能的影响	93
§ 20 冶炼方法对冷挤压性能的影响	99
§ 21 冷挤压鋼材的金相要求	100

§ 75 模具型腔的冷挤压方法	322
§ 76 冷挤压型腔的变形力	323
§ 77 冷挤压型腔的设备	324
§ 78 冷挤压型腔的凸模	324
§ 79 型腔的材料和形状的选择	325
参考文献	327

第一章 緒 論

§1 冷挤压的概念

冷挤压是金属压力加工方法的一种，它利用装在压力机上的模具，在相当大的压力及一定的速度下挤压金属，使金属产生塑性变形，从而使毛坯变成所需形状与尺寸的零件。冷挤压是在室温的条件下进行的，不需要对毛坯进行加热。

冷挤压方法既可用于生产成批的有色金属零件或钢零件，也可用于制造模具型腔。

图1是用装在压力机上的模具进行冷挤压工作的情形。图2所示是用实心钢毛坯制造空心齿轮的程序。

按照挤压时金属流动的方向，冷挤压可分为三类：

1. 正挤压 就是挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相同。图3a所示为正挤压薄壁空心件的情形。这时的加工过程是：先将杯形毛坯放在凹模内，凹模底上有

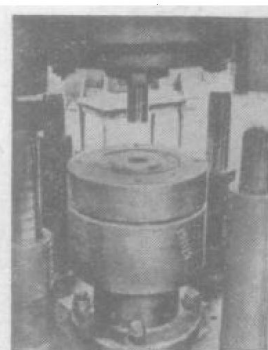


图1 冷挤压模具在压力机上工作的情形

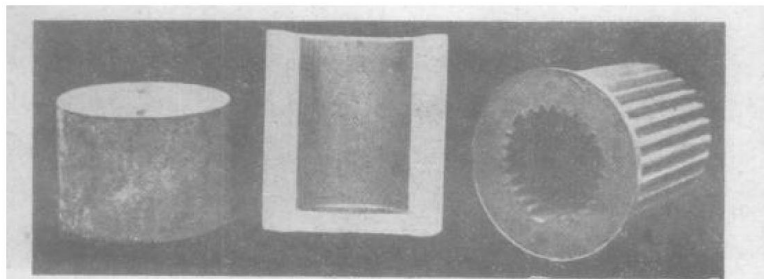


图2 用钢毛坯以冷挤压方法制造空心齿轮的程序
先将实心毛坯挤压成空心杯形件，再用这个杯形件作为毛坯挤成空心齿轮

一个大小与所制零件外径相当的孔，然后用一个心子直径与所制空心零件内径相应的凸模去挤压毛坯。凸模心子和凹模孔腔之间在半径方向的间隙即等于所挤压零件的壁厚。在挤压时，由于凸模肩部压力的作用，使金属进入塑性状态，强迫金属从凸模心子与凹模之间的间隙内流出，便制成所需的空心工件。图3b所示为可以用正挤压方法制成的一些零件的形状。一般说来，正挤压可以制造各种形状的管子和弹壳，也可以制造各种形状的空心工件（采用实心毛坯）。

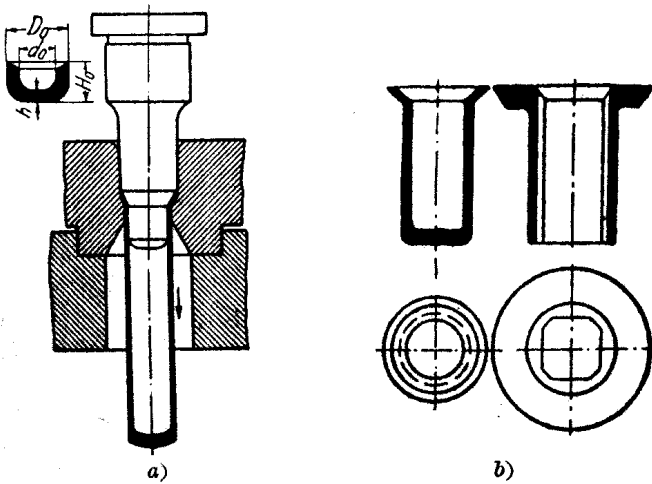


图3 正挤压法

a—挤压示意图； b—挤成的各种零件

2. 反挤压 就是挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相反。图4a所示为反挤压空心件的情形。反挤压的加工过程是：把扁平的毛坯放在凹模底上，凹模和凸模在半径方向上的间隙等于杯形零件的壁厚。当凸模向毛坯施压时，金属便沿凸模与凹模之间的间隙向上流动，从而制成所需的空心零件。反挤压方法可以制造各种断面形状的杯形空心零件（图4b）；特别适宜于制造底部厚度大于壁厚的零件。此外，还可以制造有底部突起的或者是带肋板的空心零件。

3. 复合挤压 就是以上两种方法的结合。在复合挤压时，毛

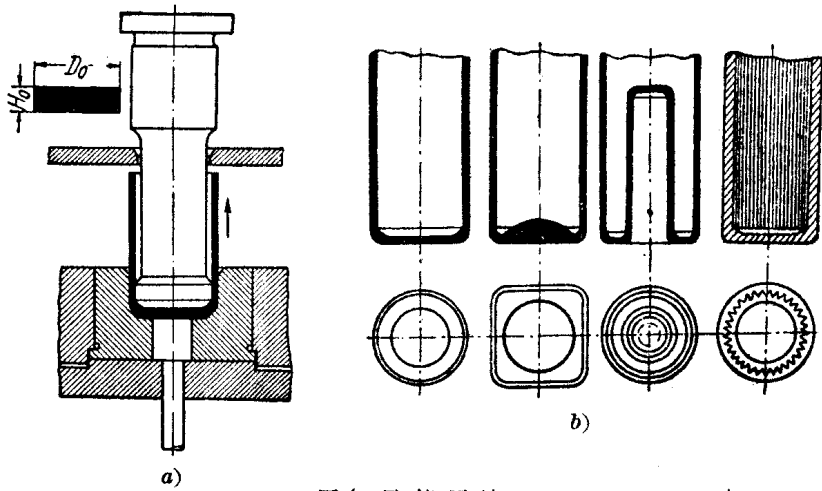


图4 反挤压法
a—挤压示意图； b—挤成的各种零件

坯上一部分金属的流动方向与凸模的运动方向相同，而另一部分金属的流动方向则相反。图5a所示为复合挤压工作的情形。这个方法可以制造圆柱形的、正方形的、长方形的、椭圆形的及带有突起的各种复杂形状的空心零件(图5b)。

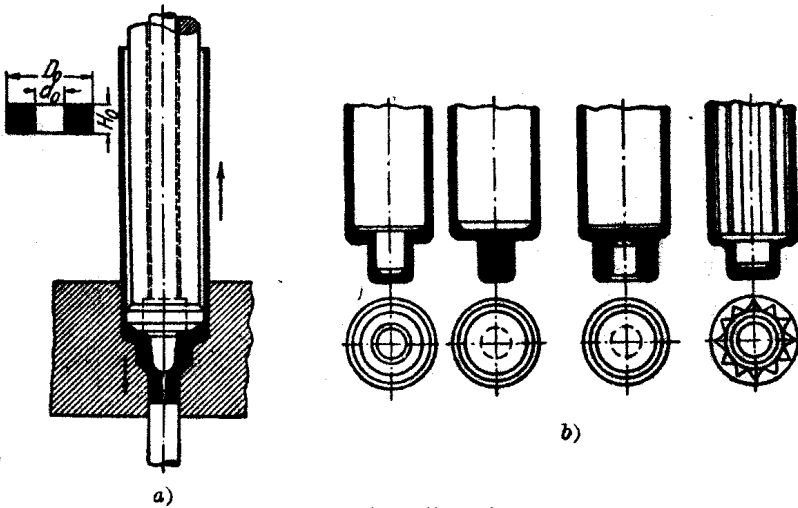


图5 复合挤压法
a—挤压示意图； b—挤成的各种零件

§2 冷挤压的发展

冷挤压加工方法的应用已經很久。最初，它只用来制造鉛和鉛錫合金的金属絲、圓料和管子；后来，又用于制造这类金属的香水瓶、食物罐子、管状的以及其他形状的制品。

到了十八世紀末叶，液压机出現以后，挤压比較坚硬的有色金属（鋅、黃銅和純銅）和它們的合金方才实现，但当时还只能在金属燒紅的状态下进行工作。因此，后来的挤压加工向两个方面发展：挤压錫、鉛及其合金时，在室温下进行（不需加热）；而挤压象鋅、黃銅、純銅以及其他比較坚硬的金属时，則需在金属燒紅的状态下进行。

冷挤压加工的发展是极其緩慢的，长期以来，它一直局限于鉛和錫等几种較軟的金属，直到十九世紀末二十世紀初，它才开始应用于鋅、純銅和黃銅等較硬的金属。

至于鋼的冷挤压，很久以来一直被认为是十分困难甚至是不可能的。这是由于在进行鋼的冷挤压时需要很大的压力，而在当时的条件下还不能解决大压力下的許多問題，例如模具材料、潤滑以及挤压压力机等方面的困难。因此，直到1920年为止，还不能对鋼材进行冷挤压加工。

对鋼材进行冷挤压的嘗試最早是在德国紐倫堡进行的，但效果不大。1930年发现可以在压力加工中采用磷酸盐处理，冷挤压的发展才比較迅速。第二次世界大战期間，鋼的冷挤压虽已在实际生产中开始应用，但由于它与軍火生产有密切联系，因此是在秘密状态下发展的。

近年来，世界各国都普遍重視这一新工艺的发展，并广泛应用于各个生产部門，目前已經可以对低碳鋼、中碳鋼以及部分的低合金鋼进行冷挤压，在某些生产部門中还建立了专业性的冷挤压車間和生产自动綫。

在旧中国，冷挤压技术是极端落后的，当时只有极少数工厂用

鉛、錫等挤压牙膏管或綫材、管材一类产品。

只有在新中国，冷挤压技术才得到迅速的发展。在机械制造业、仪表制造业、汽車拖拉机制造业、軸承制造业、日用品制造业等各个部門，冷挤压都得到了不同程度的应用和发展；对冷挤压的理論、工艺及压力机等問題也进行了試驗和研究。可以肯定，随着形势的发展、各方面的重視和科研队伍的扩大，我国的冷挤压技术必将获得更大、更快的发展。

今后冷挤压的发展方向主要有以下几个方面：

- (1) 扩大冷挤压的应用范围，逐步代替原来用鑄造、鍛造、拉延及切削加工等方法制造的零件；
- (2) 扩大可供冷挤压用的材料种类；
- (3) 提高冷挤压零件形状的复杂性，使之可以加工更复杂的、甚至外形不对称的零件；
- (4) 提高冷挤压模具的使用寿命；
- (5) 提高冷挤压的生产率；
- (6) 力求冷挤压也能适用于小批生产的零件（目前尚有一定的困难）。

为了达到这些目的，可以从以下几方面努力：

- (1) 寻求更好的模具鋼材料及其热处理方法；
- (2) 研究更理想的表面处理和潤滑方案；
- (3) 設計与制造适合于冷挤压工艺要求的压力机；
- (4) 在生产中采用机械化、自动化装置；
- (5) 采用通用模架；
- (6) 探索新的挤压方法。

在探索新的挤压方法方面，应当对液体挤压方法以及高能成形方法的发展加以注意。前者可以使挤压力降低数倍之多 [12、14、49]；后者在液电效应的能量或爆炸能量的作用下，可以使金属具有类似流体一般的性质而高速变形 [119]。此外，根据在变形过程中施加振动可以改善金属塑性和降低摩擦系数的規律 [27]，对“振动冷挤压”的优越性也应予以重視。

§3 冷挤压的优越性

近年来,冷挤压的发展,已使它成为金属压力加工中最先进的工艺之一,无论在技术上和经济上它都有很多的优点。

一、技术方面

(1) 在压力机简单的往复直线动作下,可以完成复杂的加工工序,并可以制成形状复杂的零件。

如以图6所示的一个直径12毫米、壁厚0.2毫米的铝质电容器零件为例,如果不采用冷挤压方法制造就会感到十分困难,或增加很多工序。

(2) 可以获得具有理想的表面光洁度及尺寸精度的制件。

(3) 可以得到强度大、刚度大而重量小的制件。由于冷挤压利用了金属材料冷加工时冷作硬化的特

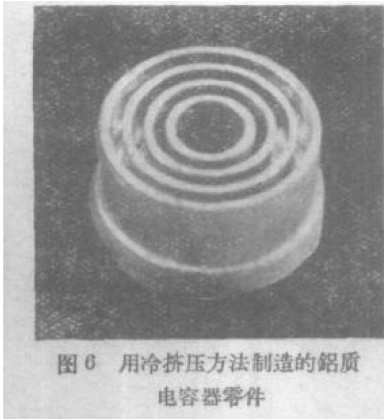


图6 用冷挤压方法制造的铝质电容器零件

性^①,经过冷挤压以后,制件的强度大为提高。这提供了用低级钢材代替高级钢材的可能性。

二、经济方面

(1) 节约材料 由于冷挤压是一种无切屑、少切屑的加工方法,因此可以大量节约材料。如上海机床厂曾经对一批零件进行试验和比较 [1],发现冷挤压加工比切削加工节约材料达55~72%。

(2) 提高生产率 由于工序的减少,相应地大大压缩了生产工时。并且在挤压过程中完全可以采用机械化、自动化设备,使生产率进一步提高。

(3) 操作简单 可由等级不高的工人进行操作,所以技工的培训较为容易。

① 关于冷作硬化的原因,将在本书第二章 §6、§7 中详细讲述。

(4) 降低生产成本 由于原材料及工时的节约、生产率的提高,因此生产成本大为降低。

从以上的分析可以看出,冷挤压工艺具有很多优点。为了更具体地说明冷挤压加工的优越性,以下将分别讨论冷挤压工艺与其他加工工艺的比較。

§ 4 冷挤压与其他工艺的比較

一、与模锻工艺的比較

冷挤压加工所能达到的尺寸精度及表面光洁度都較模锻的高得多。冷挤压加工不需要象模锻一般的拔模斜度,因而可以制成与底面完全垂直的側壁表面。此外,模锻工艺不能制造薄壁空心工件,而冷挤压却完全可以胜任。

图 7 是用模锻与冷挤压制造一个空气锤零件的比較。从图上可以看出,这个零件改用冷挤压后节约材料 73%、节约工时 89%、而总成本的降低达 77% 之多。

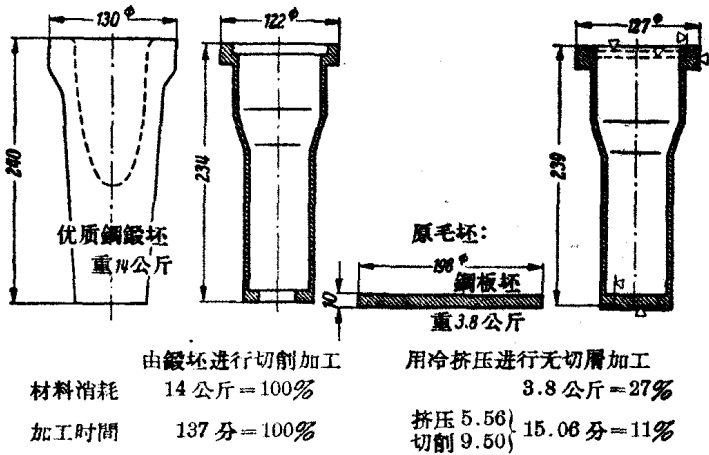


图 7 空气锤零件的冷挤压加工与模锻加工的比較

这个空气锤零件需要有較高的耐振强度,以免在使用过程中出現疲劳裂纹。用鍛造毛坯再經切削加工的这种零件較易出現这

种裂纹,而用冷挤压加工的却可以使这种裂纹大为减少。

图 8 所示是一个夹套零件。从图上的比较可以看出用冷挤压来代替模锻无论在材料消耗、加工工时上都有很大的节约。在图上还可以看出,冷挤压加工由于保持了完整的纤维组织,因而零件具有较高的机械强度。

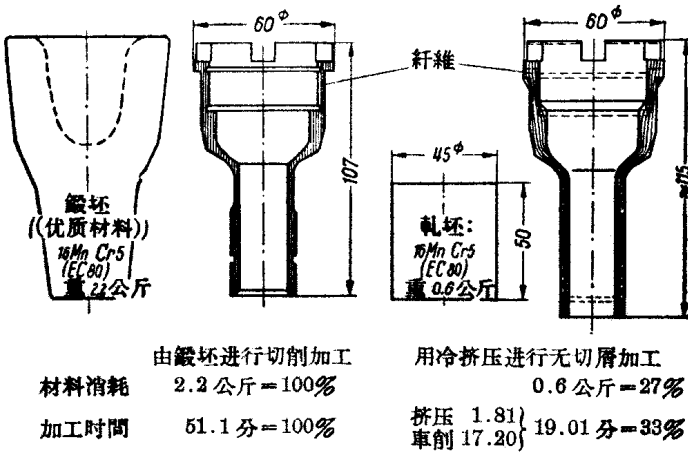


图 8 夹套零件的冷挤压加工与模锻加工的比較

二、与拉延工艺的比較

一些原来須經多次拉延工序始能制成的薄壁空心工件,可以

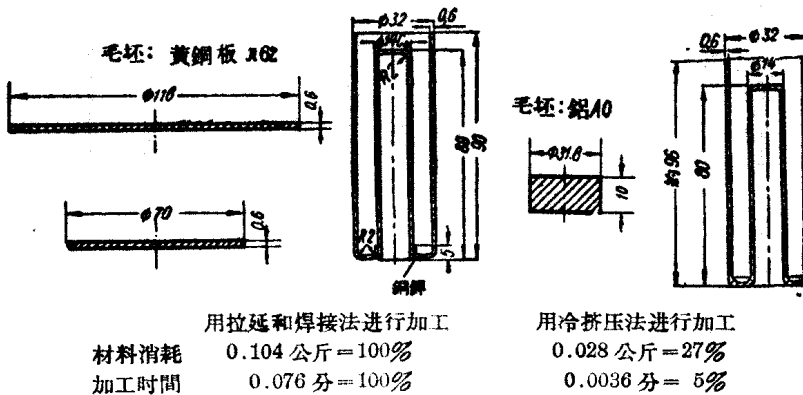


图 9 双层套零件的冷挤压加工与拉延加工的比較