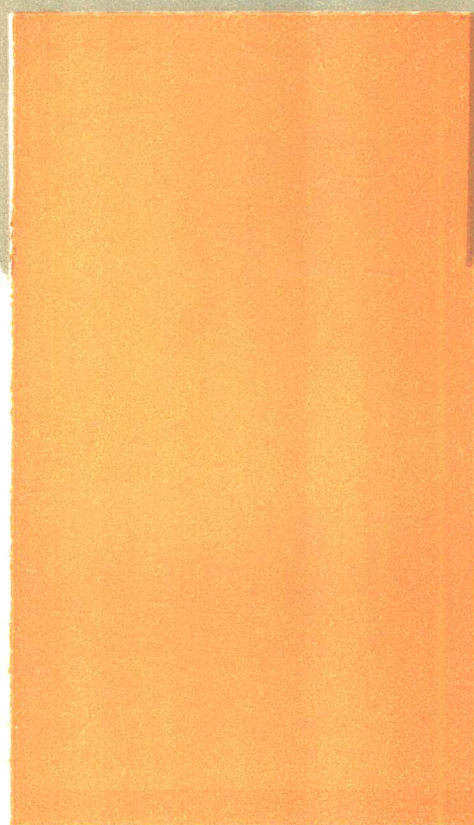


GANG DE LENGJIYA GONGYI

谷维忠 编

JI MOJU SHEJI

中国铁道出版社



钢的冷挤压工艺及模具设计

43
5

钢 的 冷 挤 压 工 艺 及 模 具 设 计

谷维忠 编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 6 年 · 北 京

内 容 提 要

本书重点叙述了钢的冷挤压工艺及模具设计。内容包括：冷挤压基本工序，冷挤压变形理论基础，冷挤压变形力，冷挤压模具设计，冷挤压工艺五个主要部分。本书理论分析清楚，变形力计算可靠，模具设计参数及结构有充分的科学和实践依据，冷挤压工艺内容完整且有代表性。该书可供从事冷挤压工艺技术人员设计参考，也可做高等院校有关专业选修课教材。

钢的冷挤压工艺及模具设计

谷维忠 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 宋黎明 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/16 印张：7.75 字数：186 千

1986年3月 第1版 第1次印刷

印数：0001—6,000 册 定价：1.55 元

前 言

冷挤压是锻压生产的重要工艺之一，在各种工业部门中得到了越来越广泛地应用，显示了其在技术上和经济上很大的优越性。冷挤压作为金属压力加工先进的工艺，有很重要的推广价值，而要推广这种工艺，必须使更多的工程技术人员掌握冷挤压的基础理论，冷挤压工艺的拟订和模具设计等方面的知识。

冷挤压有黑色金属的冷挤压，有色金属的冷挤压等，包括的范围较广，内容十分丰富。为了更有针对性和实用性，使其内容专一，本书紧紧围绕钢的冷挤压这一中心，编写了《钢的冷挤压工艺及模具设计》一书。在编写过程中重视理论分析，使之能更好地拟订冷挤压工艺；注意内容精炼明确，使之易得要领，便于掌握；强调实用，着眼于生产实际。本书虽然篇幅不长，但依据塑性成型的基础理论和当前国内外先进的技术资料。对所包括的内容，诸如冷挤压钢材，冷挤压塑性变形的理论基础，冷挤压变形力，冷挤压模具设计，冷挤压工艺等，都作了较详细的阐述。

本书可供工程技术人员使用，也可供高等院校师生参考，还可作为专业培训教材。

上海交通大学阮雪榆教授等曾在本书编写过程中，给本书初稿提出了宝贵的指导意见。本稿最后由武汉工学院姜奎华教授全面审校。在此谨致谢意。

编 者

科技新书目 117—

统 书号: 15043·5381

定 价: 1.55 元

目 录

绪 论	1
第一节 冷挤压技术概述	1
第二节 冷挤压的基本工序	3
第一章 冷挤压用钢材的性能及其试验方法	5
第一节 冷挤压用钢材	5
第二节 钢材的冷挤压性能及试验方法	7
第二章 冷挤压塑性变形的理论基础	9
第一节 金属塑性变形的基本概念	9
第二节 金属塑性变形的应力和应变状态	12
第三节 金属塑性变形的力学条件	15
第四节 影响金属塑性的因素	16
第五节 回复及再结晶现象	17
第六节 冷挤压过程的变形力学分析	18
第七节 冷挤压时金属的流动	19
第八节 冷挤压时的附加应力与残余应力	22
第三章 冷挤压变形力	25
第一节 影响单位挤压力的因素	25
第二节 挤压力的确定	31
第三节 挤压力的实测方法	37
第四节 冷挤压设备的选用	40
第四章 冷挤压模具设计	44
第一节 作用在模具上的力	44
第二节 正挤压模具的凸、凹模设计	46
第三节 预应力组合凹模设计	51
第四节 反挤压凸、凹模设计	62
第五节 冷挤压模具结构	64
第六节 冷挤压模具的卸件与顶件装置	67
第七节 冷挤压模具的导向装置	68
第八节 冷挤压模具的破坏形式分析及防止措施	68
第九节 冷挤压模具材料	70
第十节 冷挤压模具材料的锻造工艺	74
第十一节 冷挤压模具材料的热处理工艺	75
第十二节 冷挤压模具的制造	79
第五章 冷挤压工艺	82

第一节	冷挤压毛坯的制备	82
第二节	毛坯的软化处理	86
第三节	毛坯的表面处理	89
第四节	毛坯的润滑处理	93
第五节	冷挤压工件的工艺性分析	94
第六节	冷挤压件的质量和精度分析	99
第七节	冷挤压工艺方案的拟订	104
第八节	钢的冷挤压件的典型工艺	108
主要参考文献		117

绪 论

第一节 冷挤压技术概述

冷挤压工艺是金属压力加工中先进的工艺之一。它和冷冲压, 拉拔, 精密模锻, 特殊轧制等工艺一样, 是实现少或无切屑加工的重要工艺途径。

挤压工艺是在压力的作用下, 金属毛坯在模具型腔内发生塑性变形, 使其横断面变化, 从而获得所要求的尺寸和形状, 以及一定技术性能的零件的一种压力加工方法。

在再结晶温度以下, 进行的挤压加工, 称为冷挤压。对于钢来说, 在室温下进行的挤压加工, 就是钢的冷挤压加工。

对于某些高强度难变形的金属, 常对其毛坯加热至一定温度后进行挤压, 但这种加热温度低于材料再结晶温度, 这种挤压称为温热挤压。其变形实质与冷挤压基本相同, 仍保持冷变形的显著特点。

在再结晶温度以上, 进行的挤压加工, 称为热挤压。对于铅、锡、锌等金属来说, 在室温下进行挤压加工, 由于是在其再结晶温度以上进行的, 所以属于热挤压。

挤压工艺初期发展较慢, 一直局限于对较软金属材料的挤压。1830年法国开始采用挤压方法制造铅管和锡管。直到二十世纪初才开始对铜等较硬金属进行挤压加工。1906年美国成功地进行了黄铜的冷挤压。由于钢材冷挤压时单位挤压力很大, 需要大吨位的挤压设备, 要求能承受大的单位压力的模具和很好的润滑条件等, 所以, 直到1935年德国才首先把钢的冷挤压工艺用于制造弹壳的军火生产上。

近年来, 世界各国如美、英、法、联邦德国、日、苏等, 都十分重视冷挤压工艺的发展。目前, 美国钢的冷挤压件年产量为80万吨左右, 日本也达到30万吨以上。美国钢的冷挤压件中有80%用于汽车工业。日本自行车零件的制造已经冷挤压化。总之, 在现代机械工业中, 冷挤压技术已经稳定, 并且越来越丰富多彩, 在生产中发挥了很大的作用。

在我国, 冷挤压这一新工艺也得到了迅速的发展, 六十年代初, 钢的冷挤压工艺就已用于生产了。目前, 我国已能对锡、银、紫铜、黄铜、铝、低碳钢、中碳钢和不锈钢等金属材料进行冷挤压加工。在汽车、拖拉机、电机、航空、军工、电讯、轻工、内燃机车、客货车等各个生产部门, 冷挤压工艺越来越广泛地被采用。我国在挤压压力机的设计和制造方面, 在模具新材料的研制方面, 在提高冷挤压模具寿命和改善润滑条件方面都获得了较大的进展。

冷挤压工艺的发展, 特别是钢的冷挤压工艺的发展, 将为实现我国的“四个现代化”起到越来越重要的作用。

冷挤压加工与切削加工, 锤上热锻等加工方法相比, 具有下列优点:

(1) 冷挤压工艺是利用金属的塑性流动而成形, 因而可以制造形状复杂的零件。由于零件在塑性变形中所形成的纤维流线不被切断, 因此可合理地利用零件的纤维方向, 以提高零件承受外部载荷的能力和使用寿命。生产实践证明, 用冷挤压方法加工的零件的机械性能,

比切削加工的零件提高20~100%，而其抗疲劳寿命可提高两倍以上。

(2) 冷挤压工艺利用了金属的冷作硬化特性，使冷挤压零件的强度、刚度大为提高，从而可用便宜的普通钢材代替贵重的优质钢材和合金钢材。如生产液压件管接头螺母，用切削加工方法制造时，材料是35号钢；而采用冷挤压加工时改用的材料是A3钢，经高压试验，完全合格。用冷挤压方法加工汽车活塞销，用20号钢代替20Cr钢，其强度在一些情况下可满足使用要求。年产70万件的活塞销，就可以节约贵重的铬合金钢252吨。

(3) 冷挤压过程中，钢毛坯表面在高压下（工作压强可达 2.5×10^9 帕斯卡），在坚硬而光滑的模具表面上滑过，因此，工件的表面光洁度很高，一般可达到V7以上。而冷挤压工件的尺寸精度与模具的制造精度等因素有关，一般可达到8~9级，个别的工件公差范围可控制在0.015毫米之内。

(4) 冷挤压工件表面硬度高，表层金属致密，因此，其耐磨性，抗腐蚀性和抗疲劳性都好。

(5) 冷挤压工艺与锤上热锻相比，不需加热，节省了燃料，避免了氧化和烧损，这样就节省了原材料。且容易实现机械化和自动化。

冷挤压工艺有如下的经济效果：

(1) 提高劳动生产率：在压力机简单的运动下可完成复杂的工序，制成形状复杂的工件。且操作简单，安全可靠。冷挤压工艺的生产率与切削加工的生产率相比，可提高几倍到几十倍甚至上百倍。用冷挤压方法制造轴承内圈，生产率可提高4倍多；冷挤汽车球头销，与切削加工相比，提高生产率6倍。用冷挤压方法制造深孔套管，与切削加工相比，提高生产率高达96倍。

(2) 提高材料利用率：冷挤压工艺能提高材料利用率，节省钢材。活塞销零件采用冷挤压加工与切削加工相比，提高材料利用率可达70%以上。球头销零件采用冷挤压加工后，材料利用率由切削加工的42%提高到89%。

(3) 降低了产品成本：由于冷挤压工艺提高了劳动生产率，提高了材料利用率，减少了设备使用数量，从而降低了产品成本。用冷挤压方法加工活塞销零件其成本较切削加工降低了27%。制造汽车零件如解放牌CA-10直球座，用冷挤压方法加工与切削加工相比，每生产10万件，就可节约资金3万元。

(4) 减轻了劳动强度：冷挤压工艺代替切削加工和热锻加工，改善了劳动条件，减轻了劳动强度。

目前，冷挤压工艺的发展方向，主要有以下几个方面：

(1) 推广冷挤压工艺使之在汽车、拖拉机、机车、车辆、机床、电机、电器、工具等制造业中得到广泛应用，以代替一部分铸造、热锻、冲压和切削加工等。

(2) 扩大可冷挤压用的钢材品种，研究更理想的毛坯的表面处理和润滑方法。

(3) 加强模具设计基础理论的研究，研制模具新材料，不断地提高模具的使用寿命。

(4) 加强冷挤压塑性变形理论的研究，提高每一道冷挤压工序的许用变形程度，使冷挤压工艺应用于外形不对称及各种复杂零件的制造。

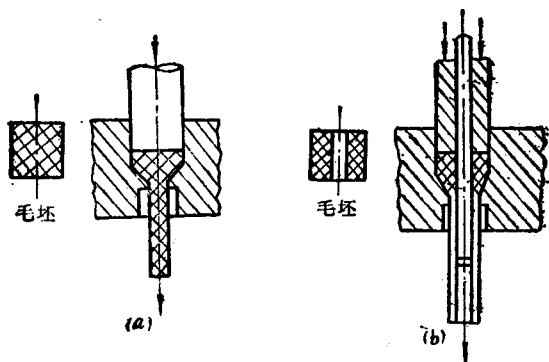
(5) 研究试验新的冷挤压加工方法，如静液挤压，高速挤压，振动挤压，超塑挤压等。

第二节 冷挤压的基本工序

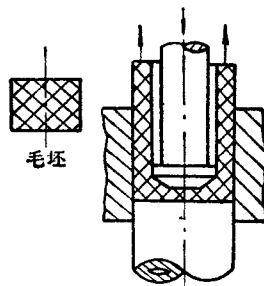
根据挤压时金属流动方向与凸模运动方向的关系，冷挤压可分为下列基本工序：

(一) 正挤压：如图绪—1所示。

正挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相同。正挤压实心件如图绪—1(a)所示。加工过程是先将毛坯放入凹模内，凹模底部有一个大小与所制工件外径相同的孔，挤压时，由于凸模压力的作用，使金属进入塑性流动状态，迫使金属从凹模孔中流出，从而制成所要求的零件。一般说来，正挤压可利用实心毛坯制成所需的各种形状的实心零件，也可利用空心毛坯制成所需的各种管状零件，如图绪—1(b)所示。



图绪—1 正挤压工序



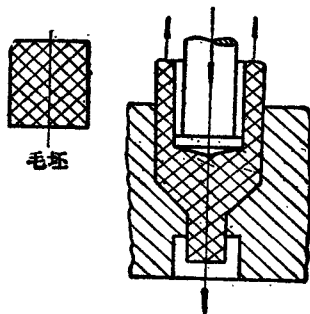
图绪—2 反挤压工序

(二) 反挤压：如图绪—2所示。

反挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相反。加工过程是把毛坯放在凹模底上，凹模与凸模径向上的单边间隙等于杯形工件的壁厚，当凸模向下运动对毛坯施加压力时，金属便沿着凸模与凹模之间的间隙向上产生塑性流动，从而制成所需的空心杯形零件。反挤压方法可以制成各种断面形状的空心杯形零件。

(三) 复合挤压：如图绪—3所示。

复合挤压时，毛坯的一部分金属的流动方向与凸模运动方向相同，而另一部分金属的流动方向则与凸模的运动方向相反。采用复合挤压方法可制成带有突起部分的复杂形状的空心零件。

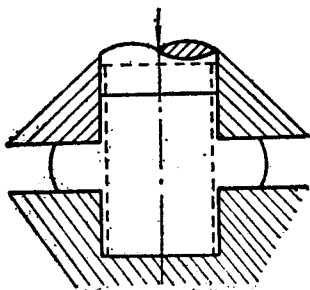


图绪—3 复合挤压工序

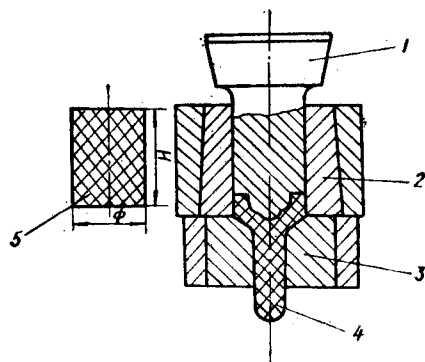
(四) 径向挤压：如图绪—4所示。

径向挤压时，金属的流动方向与凸模运动方向垂直，金属在凸模压力的作用下沿径向向外流出，从而制成所需的零件。

若将冷镦工艺与挤压工序结合在一起，组成镦挤复合工序（如图绪—5所示），可以制成结构更为复杂的零件。



图绪—4 径向挤压



图绪—5 镦挤复合工序

1 — 凸模；2 — 上凹模；3 — 下凹模；
4 — 工件；5 — 毛坯。

第一章 冷挤压用钢材的性能及其试验方法

冷挤压使用的钢材不仅关系到零件质量的好坏,而且决定着冷挤压加工的难易程度。因而选择钢材时,必须研究其各种特性,从而选择最适合于使用的材料。其中了解钢材的化学成分和机械性能与冷挤压性能的关系及其试验方法是至关重要的。本章对上述内容,将给予简要地叙述。

第一节 冷挤压用钢材

(一) 冷挤压钢材的种类:

用于冷挤压的钢材,其原材料的形式有两种:

1. 棒料——适用于在压力机上冷挤比较大型而且形状复杂的零件。具有通用性,适于批量生产。

棒材坯料的制造工序为:棒材→剪切→退火→润滑处理(→用于冷挤)。

2. 板材——应用于坯料高度小于直径的五分之一的情况。但这种形式材料的利用率低,经济效果不好。

板材坯料的制造工序为:板材→冲裁→退火→润滑处理(→用于冷挤)。

目前,生产中常用于冷挤压加工的钢材牌号和化学成分,列于表1—1。

(二) 冷挤压钢材的机械性能:

适于进行冷挤压加工的钢材,其一般机械性能的特点,一是材料的屈服极限 σ_s 较低,这样,在冷挤压过程中需要的单位挤压力较小,从而避免了冷挤压模具的损坏,提高其使用寿命。二是材料的延伸率 δ ,断面收缩率 ψ 等塑性指标较高,这样,钢材的每一道冷挤压工序的变形程度可以加大,提高了冷挤压加工的生产率。三是材料的硬度较低,这样,有利于冷挤压加工。试验证明,冷挤压加工后工件的硬度大致取决于加工前材料的硬度。

目前,供冷挤压用的某些钢材的机械性能列于表1—2。

(三) 冷挤压钢材的金相组织:

钢材的金相组织,如晶粒大小和珠光体的组织状态,非金属夹杂物形式及分布等,对冷挤压加工有很大的影响。钢材的金相组织中除了铁素体外,还有珠光体。含碳量越高,珠光体的数量越多。铁素体是软的基体,珠光体是硬的颗粒。要求硬的珠光体颗粒均匀地分布在软的铁素体基体上。珠光体在钢中的聚集对冷挤压变形十分不利,容易导致裂纹。冷挤压的钢材最好要求结构均匀且是球形的晶粒。钢材晶粒太小,会使冷挤压过程中单位挤压力增大,而晶粒太大又会使钢材的塑性降低。一般冷挤压钢材的晶粒约为0.02~0.06毫米,每平方毫米的晶粒数目约为250~2300个,晶粒的平均面积约为400~4000微米²。钢材中的非金属夹杂物若是较细地均匀分布,对冷挤压变形的影响不大。若局部集中,对冷挤压加工危害很大,特别是不能随钢材一起塑性变形的非金属夹杂物,常常使冷挤压工件在内部产生裂纹。

冷挤压用钢材的牌号及化学成份

表 1—1

名 称	钢 号	化 学 成 份 (%)							附 注
		碳	硅	锰	磷	硫	铬	镍	
普通碳素钢	B 0	≤0.23	—	—	≤0.070	≤0.060			B 0~B 5 为按化学成分供应的普通乙类碳素钢; 与此相应按机械性能供应的甲类碳素钢 A 0~A 5 亦适用于冷挤压。
	B 1	0.06~0.12	0.12~0.30	0.25~0.50	≤0.045	≤0.055			
	B 2	0.09~0.15	0.12~0.30	0.25~0.50	≤0.045	≤0.055			
	B 3	0.14~0.22	0.12~0.30	0.40~0.65	≤0.045	≤0.055			
	B 4	0.18~0.27	0.12~0.30	0.40~0.70	≤0.045	≤0.055			
	B 5	0.28~0.37	0.15~0.35	0.50~0.80	≤0.045	≤0.055			
优质碳素结构钢	08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.035	≤0.04	≤0.10	≤0.25	
	10	0.07~0.14	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.035	≤0.04	≤0.15	≤0.25	
	15	0.12~0.19	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	20	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	25	0.22~0.30	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	30	0.27~0.35	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	40	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	15 Mn	0.12~0.19	0.17~1.37	0.70~1.00	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
	40 Mn	0.37~0.45	0.17~1.37	0.70~1.00	≤0.040	≤0.04	≤0.25	≤0.25	
普通低合金结构钢	16 Mn	0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60					
合金结构钢	20MnV	0.17~0.24	0.17~0.37						Mo 0.15~0.25% Ti 0.06~0.12%
	15Cr	0.12~0.18	0.17~0.37	0.40~0.70			0.7~1.00		
	20Cr	0.17~0.24	0.17~0.37	0.50~0.80			0.7~1.00		
	30Cr	0.27~0.35	0.17~0.37	0.50~0.80			0.8~1.10		
	35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70			0.8~1.10		
	18CrMnTi	0.16~0.24	0.17~0.37	0.80~1.10			1.02~1.03		
不锈钢	0Cr13	≤0.08	≤0.6	≤0.6	≤0.35	≤0.30	12~14		
	1Cr13	≤0.15	≤0.6	≤0.6	≤0.35	≤0.30	12~14		
	2Cr13	0.16~0.24	≤0.6	≤0.6	≤0.35	≤0.30	12~14		
	1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤0.8	≤0.6	≤0.35	≤0.30	17~19	8~11	

目前供冷挤压用某些钢种的机械性能

表 1—2

材 料	屈服极限 σ_s (兆帕)	强度极限 σ_b (兆帕)	延 伸 率 δ (%)	断面收缩 率 ψ (%)	附 注
10	220	320~340	32	55	软化状态
15	220	360~380	28	55	
20	230	390~420	28	55	
30	300	500	21	50	
40	340	580	19	45	
15Cr	320	450	20	40	
18CrMnTi	600	720	18	45	
1Cr13	—	400	55		
1Cr18Ni9Ti	—	550	55		

用放大倍数为50~2000倍的专门的金相显微镜进行金相检验,可以观察到钢材的组织结构,晶粒的形状和大小,以及非金属夹杂物的形状,大小和分布等情况。

(四) 冷挤压钢材的表面状况:

冷挤压钢材的表面缺陷,如折皱,裂纹,分层,缩孔,气泡和划伤等,以及表面脱碳,对冷挤压加工是很不利的。它将使冷挤压工件成为废品。这些缺陷往往是在钢材的冶炼、轧制过程中形成的。因而检查出这些缺陷是十分重要的。

用放大倍数为10~30倍的显微镜进行金相检验,可以观察到钢材中的金属纤维方向,缩孔,疏松,气泡,裂纹及非金属夹杂物等情况。

腐蚀试验是将截取任意长度的试样,浸入热的盐酸或硫酸溶液中,使其迅速腐蚀后便可明显地看出缺陷的存在情况。还可利用测微仪实际测出缺陷的深度。脱碳层的深度也可用专门的仪器测定。

第二节 钢材的冷挤压性能及试验方法

(一) 变形抗力

变形抗力是坯料变形时材料所表现出来的抗力。变形抗力越小,加工时所需要的力就越小。变形抗力大则有可能引起压力机和模具的损伤或破坏。因此,要根据变形抗力的大小来确定冷挤压压力机的吨位和设计模具。

由于冷挤压加工需要很高的压力,所以原材料固有的变形抗力大小,就成为衡量冷挤压加工难易的标准之一。

进行压缩试验是考察变形抗力的一种方法。图1-1是碳钢的变形抗力曲线。它是考虑到摩擦的影响,并按图示要求反复进行切削和压缩试验而求得的。变形抗力 $\bar{\sigma}$ 是以试样的瞬时横截面积除载荷所得到的实际平均压缩应力。

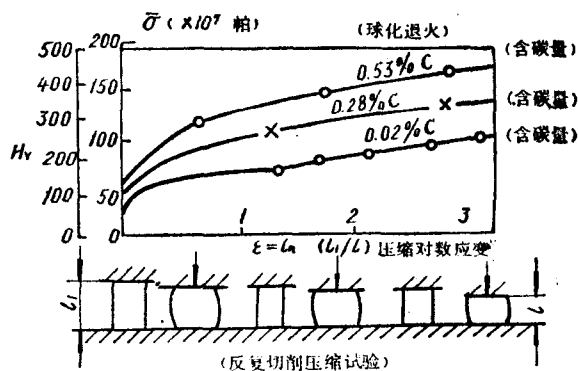


图1-1 钢的变形抗力曲线和维氏硬度曲线(工藤等)

图上同时也示出了各阶段的维氏硬度(HV),当把硬度标度改为变形抗力标度的2.5倍时,则球化处理材料的变形抗力可根据硬度测定结果推测出来。

对于塑性变形来说,材料的抗力是随着冷挤压变形的进展而增大的,致使材料产生加工硬化,所以不能把加工硬化和变形抗力分开考虑。材料固有的变形抗力虽然可以大体上求出来,但在实际冷挤压过程中,由于受到变形速度、润滑条件及模具表面条件等因素的影响,变形抗力是有相当大的变化的。

(二) 加工硬化

冷挤压时,塑性变形的阻力是随着变形程度的增大而增大的,即材料产生加工硬化现象(硬度上升)。试验结果指出,材料冷挤压加工前和加工后的硬度关系,不受热处理条件的影响,而且加工后的硬度大致取决于加工前材料的硬度。

(三) 塑性

塑性就是材料没有达到破坏程度时,获得塑性变形的性质和能力。塑性越好,材料就越

能得到较大的变形，这对冷挤压加工是有利的。塑性差时，为使加工不超过变形极限，就要缩小每一次加工的变形量和进行中间退火与中间润滑，否则，就会超过变形极限，而使工件产生裂纹。因此，塑性是决定冷挤压加工工序的主要条件。

通常采用压缩试验作为塑性的试验方法。这种试验方法，是通过压缩圆柱形试样，测定直到试样外表面发生裂纹的极限变形量（压缩率），来求得塑性大小的。这是当前普遍采用的一种方法。但是，在试验时，由于试样的高度与直径比、变形速度和接触面的润滑等条件的不同，测得的极限变形量也有所不同，所以必须对这些条件加以规定。试验结果指出，如果试样高度与直径之比 l_1/d_1 变大，则极限变形量上升。另外，极限压缩率是依据试样端面润滑条件的不同而变化的。也就是说，当润滑条件变坏时，极限压缩率下降。

（四）碳钢的反挤压性能试验：

通过对低碳钢和中碳钢试样进行反挤压加工试验，挤压的断面缩减率为40%和60%，得到各种钢的挤压载荷-行程曲线。如图1—2所示。图上坐标原点为试样与工具的接触点，横坐标为压缩的行程（毫米），纵坐标表示挤压载荷。由图可见，在挤压变形过程的初期，挤压载荷是急剧上升的，当行程在10毫米左右的点上，挤压载荷达到最大值，以后基本不变或稍有下降，即显示出稳定载荷状态。在实际生产中就是利用这种稳定状态的载荷。

因为这种载荷与压力机的容量和工具寿命有关。稳定状态下的挤压载荷比最高挤压载荷大约只低3%左右。挤压载荷-行程曲线由于润滑条件不同而有所不同。由试验得到的挤压载荷通过计算可以求得凸模上的单位压力。

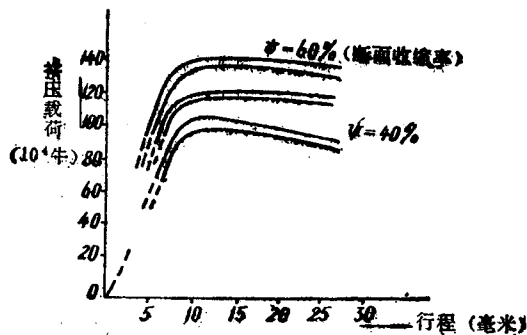


图1—2 反挤压试验加工载荷-行程曲线

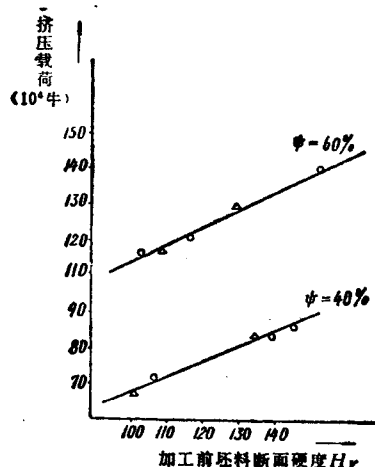


图1—3 反挤压载荷与加工前硬度的关系

试验结果指出，碳钢反挤压时，挤压载荷与材料加工前的硬度有着密切的比例关系。如图1—3所示。

随着反挤压变形的进展，塑性变形阻力也在增大，材料产生加工硬化现象。综上所述，应该选择硬度低，加工硬化率低，塑性好的钢材做为冷挤压用材料。

第二章 冷挤压塑性变形的理论基础

第一节 金属塑性变形的基本概念

(一) 金属的构造:

金属是晶体。在空间中原子是有规律和周期性的排列,这也是晶体的根本特性。另外晶体外表面具有平面或直棱,有不等方向性,即各向异性。常见的金属结晶结构有体心立方晶格,面心立方晶格,密排六方晶格等,如图2-1所示。

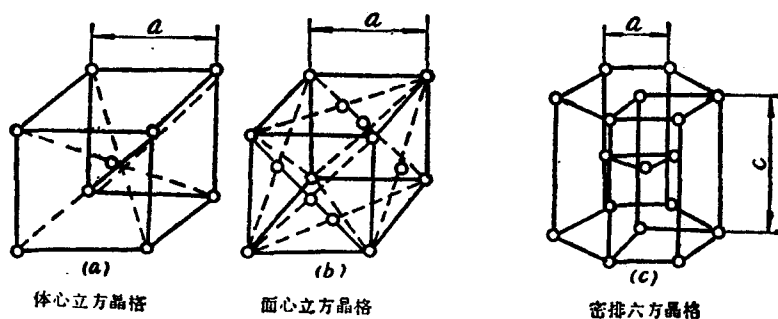


图2-1 常见的金属晶格

在金属晶格的结点上原子通常处于异号电荷间的吸引力与同号电荷间的排斥力相平衡状态。因此构成了晶格的稳定。此时原子在其稳定位置仍有微小的摆动。而有规律排列的晶格中的原子间距离为一定值。当晶格中的原子间距离保持这个数值时,它们之间相互作用的能量为最小,也就是所具有的势能最小。晶格势能与吸引力和排斥力有关,而吸引力和排斥力又与原子间距离有关,所以晶格的势能是由原子间的距离所决定的。当晶格无内力存在而处于稳定状态时,在一定的温度条件下,原子间的距离 r_0 称为晶格常数用 a 来表示。原子间的势能(u_r),吸引力和排斥力随原子间距 r 的改变而变化的情况,如图2-2所示。

当原子间距离 r 改变时,无论是 $r > r_0$,还是 $r < r_0$,晶格内都要出现内力,处于不稳定状态,晶格势能都不是最小,而只有原子间距离为 r_0 时,势能最小,晶格最稳定。这是一种理想的结晶结构状态。但是无论是在自然条件下,还是在实际生产中,都不可能得到物理-机械性能完全一致的绝对纯的金属。所有工业上的金属都含有一些可溶和不可溶的其他合金成份,甚至还有非金属夹杂物,晶粒的外形是不规则的。就单个晶粒来说,它具有单晶体的性质,有一定的方向性。但由很多晶粒组成的金属,由于晶粒排列不规则,因此它显示不出方向性来。

近年来,通过 x 射线和电子显微镜对金属晶体结构的研究结果表明,金属中晶粒内部的原子排列情况不是完整无缺的,而每一个晶粒实际上是由很多个大小为 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 厘米的小晶块,即所谓“嵌镶块”所组成。如图2-3所示。各嵌镶块的方位彼此相差一个很小的角

度（通常为 $10' \sim 20'$ ，最大不到 $1^\circ \sim 2^\circ$ ），我们可以近似地把一个晶粒看成其方位基本上是一致的。但嵌镶块对金属性能有着重要影响，如嵌镶块结构的细化便会使金属强度提高。

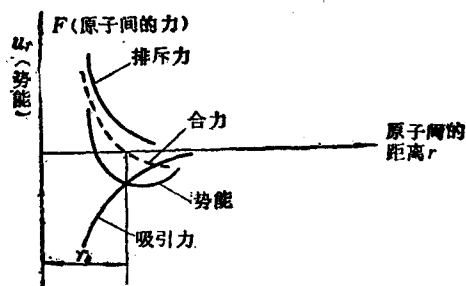


图 2—2 原子间作用力及势能变化曲线

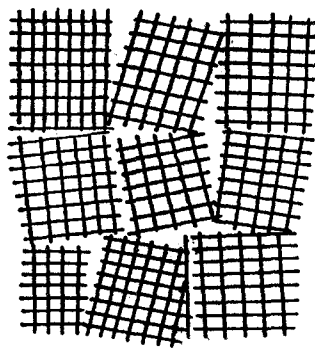


图 2—3 金属晶粒嵌镶块结构示意图

（二）弹性变形及塑性变形：

物体在力的作用下，会产生尺寸或形状的改变，这种改变称为变形。

变形在外力去掉后，能恢复原状的称为弹性变形。

变形在外力去掉后，不能恢复原状的称为塑性变形。

金属在力的作用下，一般既产生弹性变形又能产生塑性变形，故金属是一种弹塑性物质。

金属弹性变形的产生，是由于原子离开自己的平衡位置，晶格内原子间距离发生变化的结果。当金属晶体在压力作用下，使原子间的距离减少， $r < r_0$ ，产生压缩变形时，必将增大排斥力并减小吸引力以与作用的压力进行新的平衡。当金属晶体在拉力作用下，使原子间的距离加大， $r > r_0$ ，产生伸长变形时，必将增大吸引力并减小排斥力以与作用的拉力进行新的平衡。在力的作用去掉以后，新的平衡就破坏了，原子又重新回到原来的平衡位置，此时， $r = r_0$ ，这就是弹性变形的实质。

多晶体的弹性变形规律可以用虎克定律来说明。即在弹性范围内应力与应变成线性关系如下式所示。 $\sigma = E \cdot \varepsilon$

式中应变 $\varepsilon = \Delta L / L_0$

L_0 ——工件原始长度（毫米）；

ΔL ——工件受力后的变形量（毫米）。拉伸变形 $\Delta L > 0$ ，压缩变形 $\Delta L < 0$ ；

E ——工件材料的弹性模量，由金属材料种类而决定的常数。金属的弹性是其较为稳定的性能。弹性模量 E ，除温度外，很少受其他因素的影响。

另外，应力又可表示 $\sigma = P / F_0$ 。（兆帕）

P ——表示作用力。（牛）拉力 $P > 0$ ，压力 $P < 0$ ；

F_0 ——工件的原始断面积（毫米²）

金属塑性变形产生，是靠晶格中的原子相对移动到新的平衡位置实现的。这种移动的距离往往超过了晶格中原子间的距离。也就是说，此时原子已失去了恢复至原始平衡位置的能力。

金属的塑性变形能力和塑性变形抗力不是固定的机械性能，它受金属的组织、温度及润滑条件等因素的影响。

（三）单晶体的塑性变形机构：