

质量检验和监督教材丛书

高级锻件检查工 培训教材

机械电子工业部质量安全司 编

机械工业出版社

质量检验和监督教材丛书

高级锻件检查工培训教材

机械电子工业部质量安全司 编



机械工业出版社

(京) 新登字054号

内 容 简 介

本书是《机械工业质量检验和质量监督人员培训教材》的补充教材，适于高级锻件检查工技术培训用。

本书以原机械部颁发的《工人技术等级标准》中对高级锻件检查工规定的“应知”、“应会”为提纲，系统地介绍了金属塑性变形基本理论、锻造用合金的性能和锻造方法、检验锻件用仪器设备的结构原理和使用方法及检具的设计、锻件的质量检验内容和检验方法、大型锻件的检验示例、锻造中各种缺陷的形态及其原因分析和预防措施、大型锻件的质量控制等。这些内容包括了高级锻件检查工人应具备的理论知识和操作技能。

高级锻件检查工培训教材

机械电子工业部质量安全司 编

*

责任编辑：张保勤 版式设计：霍永明

封面设计：郭景云 责任校对：熊天荣

责任印制：路 琳

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 8¹/₄·插页 1·字数 184 千字

1992年11月北京第1版·1992年11月北京第1次印刷

印数 0,001—7,000·定价：5.50元

*

ISBN 7-111-03390-6/TG·738

质量检验和监督教材丛书编委会

主 编 曹仿颐

副主编 阎育镇 梁国明 孟庆茂 任志康

编 委 (按姓氏笔画为序)

于克顺	马金孚	王化仁	王春元
牛景隆	艾金兰	叶琳生	刘金波
刘蔚	李文台	李瑞根	严庆泉
余伟苓	邱柏	杨浚	沈庆海
陈祖义	张怀琛	张恬	张鸿钧
何悌	林宝和	周纪芾	周国铨
姜士俊	姚光辉	胡乐松	饶孝权
袁世龙	钱嘉贤	徐永泉	倪步高
倪国良	唐星华	陶伟	梁铁山
盛宝忠	曾宪铮	谢佑夏	蒋鸿章
傅建华	蔡梅英		

前 言

从1990年初,机械行业用《机械工业质量检验和质量监督人员培训教材》(原国家机械工业委员会质量安全监督司编)对质量检验和质量监督人员进行了基础知识培训,这是一次有领导、有组织、有计划的培训工作,对提高质量检验和质量监督队伍的素质取得了良好效果。

为了进一步提高质量检验人员的技能,1990年本部在《机械工业企业检验工作暂行条例》中规定:“质量检验人员必须经过培训考核,证明其胜任工作后方可发给检验操作合格证和质量检验印章。无证不能上岗”。1992年本部印发《机械工业企业质量检验机构基本条件(指导性文件)》时重申了这一规定。根据这些规定,各企业在安排和招收高级锻件检查工人时,除必须具备高级锻件工人所需的理论知识和操作技能外,还必须用本教材进行锻件检查理论知识和操作技能的培训考核,经培训考核合格后方可录用并发给检验操作合格证和质量检验印章;对已在工作岗位上的高级锻件检查工人也必须用本教材进行再培训考核,以进一步提高他们的技术水平。与这套教材同时出版的《机械工业质量检验员手册》,可供他们的工作中随时查阅。

本书由于克顺、王化仁、刘蔚编写,由姜士俊校。在编写中,尽管做了很大努力,但肯定还有不妥之处,希望教师 and 学员提出指正意见,以便再版时更正。

机械电子工业部质量安全司

1992年1月

目 录

前言

第一章 金属塑性变形基本理论知识..... 1

第一节 塑性和变形抗力1

一、塑性及其评定1

二、变形抗力4

三、塑性变形理论的应用5

第二节 影响塑性和变形抗力的因素8

一、化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响9

二、变形温度、变形速度对塑性和变形抗力的影响18

三、应力状态对塑性和变形抗力的影响25

四、其它因素对塑性和变形抗力的影响30

第三节 提高塑性和降低变形抗力的措施32

一、提高材料成分和组织的均匀性33

二、合理选择变形温度和变形速度33

三、选择最有利的变形方式34

四、确定合理的变形规范34

五、设计合理的工模具34

六、改进操作方法34

七、采用良好的润滑35

八、减少工、模具与变形金属的接触面36

思考题37

第二章 金属的锻造.....38

第一节 金属的分类及其锻造38

一、金属的分类38

二、金属的锻造性能和锻造方法39

第二节 大型锻件的锻造50

一、大型钢锭的内部结构及其缺陷	50
二、大型锻件锻造的工艺特点	53
三、大型锻件锻造工艺举例	60
第三节 消除锻件内部缺陷的锻造方法	72
第四节 高碳化物钢改锻和降低碳化物等级的锻造方法	75
第五节 下道工序对锻件的特殊要求	81
第六节 精密模锻	85
一、精密模锻简介	85
二、精密模锻的分类	86
三、精密模锻的应用	87
第七节 锻造新工艺	88
一、辊轧工艺	88
二、旋转锻造工艺	94
三、高速锤锻造工艺	96
四、电热锻工艺 (电锻)	97
五、多向模锻工艺	99
六、摆动辗压工艺	101
思考题	103
第三章 锻件的检验	105
第一节 检验用的部分仪器	105
一、硬度计	105
二、窥膛仪	110
三、磁粉探伤	111
四、投影仪	117
第二节 检验方法	119
一、理化检验	119
二、力学性能试验	126
三、宏观检验	132
四、金相检验	136
第三节 设计检查工具的基本方法	138

VI

第四节 编制检查工艺	144
第五节 检查举例	156
一、大型连杆锻件的检查	156
二、多拐曲轴锻件的检查	158
三、筒形锻件的检查	161
四、300MW发电机转子的检验	161
五、汽车前轴锻件的检查	168
思考题	170
第四章 锻件质量分析	171
第一节 大型锻件质量检查的内容及质量分析的方法	171
一、大型锻件的质量检查	171
二、大型锻件质量分析的方法	176
第二节 大型锻件的缺陷	181
一、钢锭的结晶组织及缺陷	181
二、钢中非金属夹杂物	186
三、钢在热处理时引起的裂纹	192
四、大型锻件锻造缺陷及其质量分析	194
思考题	223
第五章 锻件质量控制	224
第一节 大型锻件质量控制的基本概念	224
第二节 大型锻件质量控制的主要方法	227
一、直方图	227
二、排列图和因果图	229
三、控制图	230
第三节 大型锻件质量控制的主要内容	238
第四节 建立健全质量保证体系	246
思考题	256

第一章 金属塑性变形

基本理论知识

金属塑性变形是金属塑性成形技术的重要理论依据和前提。利用金属塑性成形的方法不但可以获得各种形状复杂的工件，而且可以获得强度高、性能好的工件。同时，金属塑性成形方法的生产率高，材料消耗少，因而在国民经济中得到广泛的应用。

塑性成形方法很多，各有其特点，但它们在塑性变形的物理和力学方面的基础相同。比如各种塑性成形方法都是以金属具有塑性为前提的；都有外力作用；成形时不同程度地存在外摩擦的影响；遵循着共同的金属学和塑性力学的基础等等。金属塑性成形理论的任务就在于研究塑性成形中个别的和共同的规律性问题，以便在生产中利用这种规律，选择设备，设计工艺，科学地、高效率地指导生产，保证质量。锻件质量检查工应该了解这些规律。

第一节 塑性和变形抗力

一、塑性及其评定

1. 塑性

所谓塑性，是指固体材料在外力作用下发生永久变形而不破坏其完整性的能力。

● 材料的塑性不是固定不变的，同一种材料，在变形条件不同时，其塑性也不同。比如，铅在通常情况下，塑性极好，

但在三向等拉伸应力作用下，却不产生任何塑性变形，而象脆性材料那样被破坏。相反，大理石极脆，但在三向压应力作用下，有可能产生相当大的塑性变形。

2. 塑性的评定

用来衡量金属塑性高低的数量指标称为塑性指标。塑性指标是以材料开始破坏时的塑性变形量来表示的，它可借助于各种实验方法来测定，如拉伸、锻粗和扭转试验等。

对应于拉伸试验的塑性指标，用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。 δ 和 ψ 的数值可由下式求得：

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——拉伸试样原始标距长度；

L_k ——拉伸试样破断后标距间的长度；

F_0 ——拉伸试样原始断面积；

F_k ——拉伸试样破断处的断面积。

从原则上讲，上述两个塑性指标，都只能表示材料在单向拉伸条件下的塑性变形能力。由于 ψ 既不取决于试样的标距长度，也不取决于均匀变形区与集中变形区（即细颈处）长度的比例关系，同时它具有由最小为零变化到最大为 1（100%）的特点，因此与 δ 相比，有一定的优越性，应用也较多。

为了考核材料的塑性，在锻造中常采用锻粗方法做试验。它所用的圆柱形试样之高度 H_0 一般为 其直径 D_0 的 1.5 倍（如取高度为 60mm，则直径为 40mm），在试验时，将试样（热的或冷的）放在压机上或锻锤上进行锻粗，直锻粗到出现第一条肉眼可看到的裂纹为止。这时的压缩程度 ϵ ，即为该

材料的塑性指标，其值可用下式求得：

$$\varepsilon_e = \frac{H_0 - H_k}{H_0} \times 100\%$$

式中 H_0 ——圆柱形试样的原始高度；

H_k ——试样压缩后，在侧表面出现第一条肉眼可见的裂纹时的试样高度。

试样之所以出现裂纹，是由于试样侧表面处受拉应力作用的结果。拉应力的受大小受各种因素的影响，比如，工具和试样接触表面的摩擦力、散热条件、试样的几何尺寸等因素。因此，在用镦粗法测定塑性指标时，为使所测的结果可以进行比较，就必须制定相应的试验规程，说明试验的具体条件。

扭转试验的塑性指标，是以试样扭转时的扭转角或扭转圈数来表示的。由于扭转时的应力状态，很接近于零静水压力，且试样从试验开始至破坏止，在其整个长度上塑性变形均匀地进行，始终保持均匀的圆柱形，不象拉伸试验时试样出现细颈和镦粗试验时试样出现鼓形，从而排除了变形不均匀性的影响。这些对塑性理论研究无疑是很重要的。

针对各种成形工艺的特点，还可以有其他的试验方法和相应的塑性指标。例如用艾力克逊试验来测定板料的压凹高度，用弯曲试验来测定板料弯曲部分出现裂纹时的弯曲角度或弯曲次数，以此来分别表示板料拉延和弯曲时的塑性变形能力。

还需指出，各种试验方法都是相对于其特定的受力状况和变形条件的，由此所测定的塑性指标，仅具有相对的和比较的意义。它们仅说明在某种受力状况和变形条件下，这种金属的塑性比那种金属的塑性高还是低；或者对某种金属来说，在什么样的变形条件下塑性好，而在什么样的变形条件

下塑性差。至于表示金属塑性变形能力的统一指标，至今尚未解决。

二、变形抗力

变形抗力分为塑性变形抗力和实际变形抗力。

塑性变形抗力是指金属抵抗形状改变和残余变形的能力。

塑性变形抗力可用切应力和正应力表示。塑性变形抗力的大小决定于金属原子保持稳定平衡状态的力的大小。为使金属产生塑性变形必须施加外力，在外力作用下，金属中产生的主应力要大于塑性变形抗力之值。

塑性变形抗力一般是随变形程度的增大而增大，因此，可将变形抗力分为小塑性变形抗力、中塑性变形抗力和大塑性变形抗力。

实际变形抗力则是金属在塑性加工时作用在工具表面单位面积上的变形力，也称单位流动压力，它和金属真实变形抗力（或真实应力）的关系为：

$$P = m\sigma$$

式中 m ——反映工件受力状况的无因次系数，它与塑性加工工具的类型和变形毛坯的相对尺寸和形状及接触摩擦等有关；

σ ——塑性加工条件下材料的真实应力，它与金属的化学成分和组织、变形温度、变形速度和变形程度等有关。

工具和毛坯接触表面的单位流动压力分布是不均匀的，因此，金属的单位流动压力都用平均值来表示。

由于真实应力、屈服极限和强度极限等在一定程度上反映了材料的变形抗力，因此也把它们作为材料的变形抗力指

标来讨论，但是，这些指标在一般情况下不能直接用作变形抗力来计算。

应当指出的是：塑性和变形抗力是两个不同的概念，简单地讲，前者反映材料的塑性变形能力，后者则反映塑性变形的难易程度。塑性好，不一定变形抗力低，反之亦如此。

三、塑性变形理论的应用

金属压力加工业的发展和运用，其主要依据就是金属具有塑性变形这一基础理论。工业中常见的压力加工方法，如轧制、拉拔、锻造、冲压等，都是利用金属具有塑性变形这一特性得以实现的。

由于金属压力加工方法在技术上和经济上有它的独特之处，因而成为国民经济发展中不可缺少的重要加工手段，它主要有以下优点：

1) 金属材料经过相应的压力加工后，其组织、性能都能得到改善和提高，特别是对于铸造组织的改善，效果更为显著。例如，铸锭要通过锻造或轧制，或者挤压，才能使结构致密、组织改善、性能提高，成为合用的材料。因此，凡是受交变载荷、服役条件比较繁重的零件，都要求用压力加工方法成形。

2) 金属压力加工成形是金属在固态下体积转移的过程。因此在成形过程中，不象切削加工那样产生切屑（有时有少量的加工废料），所以是一种无切屑成形方法，因而可以获得合理的流线分布和较高的材料利用率。

3) 用压力加工成形方法得到的工件，可以达到较高的精度，近年来由于采用先进的技术和设备，不少零件已达到少、无切屑的要求。例如，精密锻造的锥齿轮，其齿形部分

的精度可达 8 级，表面粗糙度达 $R_{\text{a}}1.6$ ，可以不经切削加工而直接使用等。

4) 压力加工方法有很高的生产率。如轧制、拉丝、挤压等工艺方法都是非常明显的。对锻压生产来说，由于其机械化和自动化的发展，趋势也是如此。如在 120MN 机械锻压机上锻造汽车用的六拐曲轴仅需 40 s，用自动冷锻机生产 M12 螺栓，每分钟生产 210 件，冷锻 M12 螺母，每分钟生产 150 件等等。

由于压力加工方法的优越性，决定了它在国民经济中的重要地位和应用的广泛性，象汽车、拖拉机、宇航、船舶、军工、电器等工业部门，都广泛地采用压力加工方法来制造各种零件。

为了生产的顺利进行和制造高质量的工件，人们通过研究不同金属材料的塑性特征，以采用相应的措施和压力加工方法，比如在锻压生产中，人们通过加热来降低变形抗力和提高某些金属的塑性，以达到顺利生产的目的。

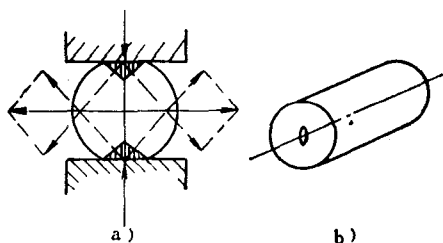


图1-1 平砧拔长圆截面坯料的情况

a) 受力情况 b) 产生的纵向裂纹

的。但生产实践证明，仅此手段还不能完全保证工件的质量，人们又进一步通过改变应力状态来提高其塑性，如用平砧拔长合金钢时，易使毛坯心部产生裂纹（图1-1），改用 V 型砧后，由于工具侧向压力的作用，减少了毛坯心部的拉应力，从而避免了裂纹的产生（图1-2）。某些有色金属和耐热



图1-2 V型砧拔
长圆截面坯料

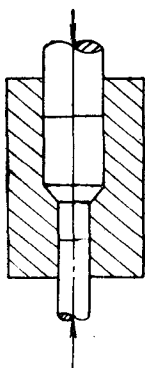


图1-3 加反压力
挤压

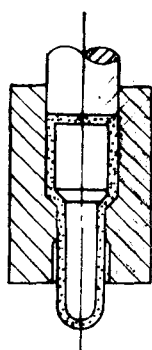


图1-4 包套挤压

合金，由于塑性很差，需要采用挤压工艺进行开坯或成形，但即使这样，有时仍不能避免毛坯挤出端的开裂。为此，可采用反压力的挤压(图1-3)、包套挤压(图1-4)等方法，来进一步提高静水压力，以防止裂纹的产生。在分离工序中(如板料冲裁和棒料切断等)，由于剪裂纹的产生而降低剪切面的质量。若对毛坯额外施加一个强大的压应力，以提高金属的塑性，就可以抑制裂纹的产生，使塑性剪变位延伸到剪切的全过程，从而获得光滑的剪切面。具有强大压边圈的精密冲裁(图1-5)和施加轴向压力的棒料精密剪切(图1-6)便是依据这个原理。

在压力加工时，除了设法提高塑性外，还应千方百计设法降低变形抗力，以求用较小功的消耗，获得较大的成效。但还需具体工件具体分析。比如，在塑性加工中，为了减小变形抗力，宜采用异号主应力图(图1-7b)的变形方式，但这对提高金属的塑性不利。反之，为了提高金属的塑性，应

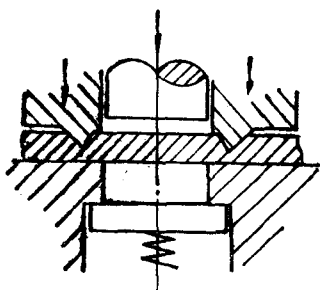


图1-5 精密冲裁

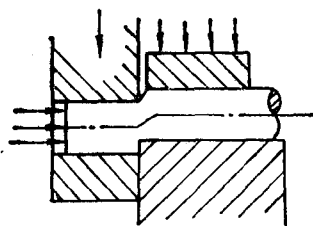


图1-6 施加轴向压力剪切

采用具有三向不等压缩主应力图（图1-7 a）（即大的静水压力）的变形方式，但会使变形抗力增加。究竟应采用什么样的变形方式，要根据金属的塑性、工件的形状尺寸、生产率等具体因素来确定。例如在生产氧气瓶一类的空心件时，为了减小变形抗力，多采用变薄拉延工艺而不采用挤压工艺。前者具有异号主应力图，后者具有同号主应力图。

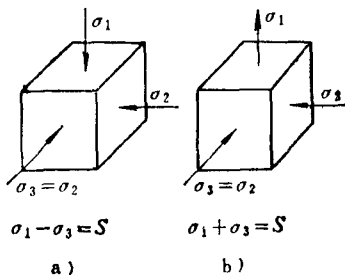


图1-7 三向同号与异号主应力图时的塑性条件

a) 同号主应力图 b) 异号主应力图

第二节 影响塑性和变形抗力的因素

影响金属塑性和变形抗力的因素，归纳起来主要有以下两方面：

- 1) 金属本身的晶格类型、化学成分和金相组织等。
- 2) 变形时的外部条件, 如变形温度、变形速度和受力状况等。这里对影响塑性和变形抗力的有关因素分别进行阐述。

一、化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响

化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响非常明显, 但也非常复杂, 在这方面, 人们至今对其认识还很不全面。这里仅以钢为主要对象, 分析其化学成分和组织对塑性和变形抗力的影响。

1. 化学成分的影响

在碳钢中, Fe 和 C 是基本元素。在合金钢中, 除了 Fe 和 C 外, 还包含有不同的合金元素。常见的合金元素有 Si、Mn、Cr、Ni、W、Mo、V、Co、Ti 等。此外, 由于矿石、冶炼和加工等方面的原因, 在各类钢中还含有不同程度的杂质, 如 P、S、N、H、O 等。下面分析其对塑性和变形抗力的影响。

(1) 碳钢中碳和杂质的影响

碳 碳对碳钢的性能影响最大。碳能固溶于铁, 形成铁素体和奥氏体固溶体, 它们都具有良好的塑性和低的变形抗力。当碳的含量超过铁的溶碳能力时, 多余的碳便与铁形成化合物 Fe_3C , 称为渗碳体。渗碳体具有很高的硬度, 而塑性几乎为零。对基体的塑性变形起阻碍作用, 而使碳钢的塑性降低, 抗力提高。随着碳含量的增加, 渗碳体的数量亦增加, 塑性的降低和变形抗力的提高就更甚, 图 1-8 表示退火状态下, 碳钢塑性和变形抗力指标与碳含量的关系。由图可见, 碳含量越高, 碳钢的塑性越差。对用作冷成形的碳钢, 应采用碳含量低的钢。在热成形时, 虽然碳能全部溶于奥氏体中,