

机电工业考评技师复习丛书

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

锻压工

机械工业出版社



机电工业考评技师复习丛书

锻 压 工

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编



机械工业出版社

本书简明、系统地介绍了锻造材料及锻压工艺方面的基础知识。全书共分八章，包括：锻造材料及其加热；金属塑性变形理论基础；自由锻造、胎模锻造、模型锻造；锻造工艺规程的制定；高合金钢及有色合金的锻造；锻件锻后冷却、热处理及质量检查；锻造设备；特种锻造及锻压新技术等。每章末附有复习题，书末附有复习题答案选摘。

本书供参加考评技师的工人复习使用，也可供考评技师的工作人员参考。

本书由沈阳重型机器厂沈天宝、李正文合编，钱肇平审稿。

锻 压 工

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

责任编辑：王 斌 责任校对：郝凤涛
封面设计：方 芬 版式设计：吴静霞
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）
（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）
机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张 10³/₄·字数 237 千字
1990年11月北京第一版·1990年11月北京第一次印刷
印数 0,001—4,300·定价：7.20元

ISBN 7-111-02245-9/TG·576

前 言

技师聘任制是在高级技术工人中实行技术职务的一项重要政策。对鼓励工人钻研业务，不断提高技术素质，稳定工人队伍，发挥高级技术工人的作用，适应经济建设需要，具有十分重要的意义。

目前，全国机电行业正在贯彻落实机电工业部和劳动人事部有关文件的精神，积极开展技师职称考评工作。为了配合这项工作的开展，我们组织编写了《机电工业考评技师复习丛书》。

《丛书》共20种，是依据部颁《工人技术等级标准（通用部分）》有关工种的“应知”要求，参考原国家机械工业委员会人事劳动司审定的《机械工业考评工人技师复习题例》和统编《机械工人技术理论培训教材》编写的。在内容安排上，《丛书》和《题例》配套，围绕《题例》中涉及到的重点问题，结合企业高级工、技师岗位生产（工作）实际，用《培训教材》中的有关内容，从理论上加以阐述，融《题例》和《培训教材》于一体。这是本套《丛书》最大的特点。

《丛书》内容精炼，除了供参加考评技师的工人复习、自测使用外，也可供各级技师考评组织在命题和评定成绩时参考，还可作为高级工和技师日常工作中的参考书。

对《丛书》的不足之处，欢迎提出宝贵意见，以便再版时修订。

机电工业考评技师复习丛书编审委员会

1989年4月

编 审 委 员 会 名 单

主 任 郭洪泽
副主任 董无岸 刘葵香 雷柏青(常务) 杨惠永
(常务)
委 员 和念之 陈 东 杨 明 张昭海 程新国
胡家振 胡晓华

目 录

前言

第一章 锻造材料及其加热	1
§1.1 锻造生产用原材料	1
§1.2 锻造材料的加热方法	8
§1.3 燃料及其燃烧	14
§1.4 加热对钢的影响	19
§1.5 加热缺陷及防止措施	23
§1.6 锻造温度范围的确定	30
§1.7 钢的加热规范	32
§1.8 少、无氧化加热	44
§1.9 加热温度的测量方法	49
§1.10 锻造加热炉	53
复习题	63
第二章 金属塑性变形理论基础	66
§2.1 金属的晶体结构	66
§2.2 金属在锻压时的受力与变形	70
§2.3 金属塑性变形的实质	74
§2.4 金属的加工硬化	78
§2.5 金属的软化过程	82
§2.6 金属塑性变形的分类	87
§2.7 金属塑性变形的基本定律	88
§2.8 金属在热变形中组织性能的变化	92
§2.9 金属的塑性和变形抗力	94
§2.10 提高金属塑性的主要途径	111
§2.11 金属的超塑性及其应用	113
§2.12 金属在几种主要工序中的变形特点	116

复习题.....	126
第三章 自由锻造、胎模锻造、模型锻造.....	128
§3.1 自由锻造.....	128
§3.2 大型锻件的锻造.....	137
§3.3 胎模锻造.....	141
§3.4 模型锻造.....	146
复习题.....	167
第四章 锻造工艺规程的制定.....	170
§4.1 自由锻工艺规程的制定.....	170
§4.2 自由锻工艺规程示例.....	182
§4.3 模锻工艺规程的制定.....	191
§4.4 锻模型槽的设计.....	209
§4.5 模锻工艺规程示例.....	223
复习题.....	237
第五章 高合金钢及有色合金的锻造.....	238
§5.1 高合金钢锻造概述.....	238
§5.2 高速钢锻造.....	242
§5.3 不锈钢锻造.....	248
§5.4 铜合金锻造.....	250
§5.5 铝合金锻造.....	253
§5.6 钛合金锻造.....	254
复习题.....	257
第六章 锻件锻后冷却、热处理及质量检查.....	259
§6.1 锻件的锻后冷却.....	259
§6.2 锻件的热处理.....	267
§6.3 锻件的质量检查.....	276
§6.4 锻件的质量分析.....	282
复习题.....	283
第七章 锻造设备.....	285

§7·1 自由锻造设备.....	285
§7·2 模型锻造设备.....	301
复习题.....	317
第八章 特种锻造及锻压新技术.....	319
§8·1 精密模锻.....	315
§8·2 高速锤锻造.....	318
§8·3 辊锻.....	320
§8·4 径向锻造.....	322
§8·5 多向模锻.....	323
§8·6 摆动辗压.....	326
§8·7 液态金属模锻.....	327
§8·8 爆炸成形.....	330
复习题.....	332
复习题答案选摘.....	333

第一章 锻造材料及其加热

§ 1.1 锻造生产用原材料

锻造生产用原材料有钢及有色金属，但最常用的是钢。锻造所用钢料有钢锭和钢材两种。大型锻件多用钢锭作为原材料，中小型锻件多用钢材作为原材料，因此，我们在这里主要介绍钢锭和钢材。

一、钢锭的组织 and 缺陷

1. 钢锭的组织 钢锭是由冶炼好的钢液在一定的温度下浇注到钢锭模中冷却凝固而成的。钢锭的形状有方形、八角形、圆形和扁方形几种。钢锭由冒口、锭身和底部（水口）组成。锭身的质量优于冒口和底部，是锻造时取用的部分，而冒口和底部都必须在锻造时切除。目前我国锻造用大型钢锭有两种规格，一种是普通锻件用的4%锥度、高径比为1.8~2.3、冒口比例为17%的钢锭；另一种是优质锻件用的11~12%锥度、高径比为1.5左右、冒口比例为20~24%的钢锭，如图1-1所示。如果将锻造用钢锭沿其纵、横剖面进行研究，则会发现：冒口区有缩孔

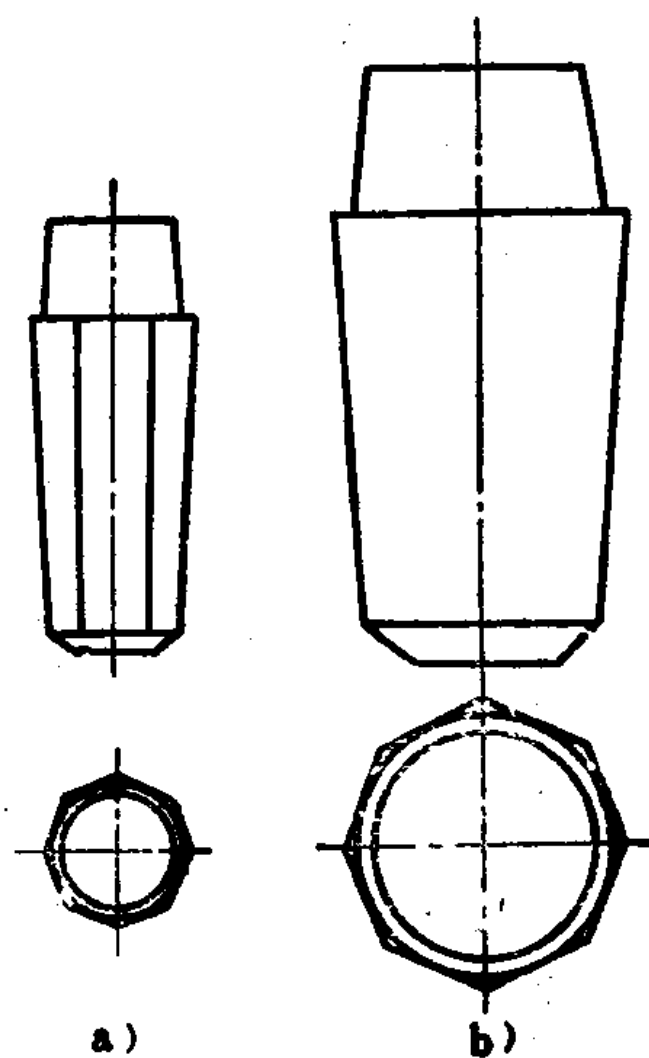


图1-1 钢锭

a) 锥度4% b) 锥度11~12%

和疏松；底部有非金属夹杂物沉积堆，锭身则由三层形状不同的晶粒组织构成，如图1-2所示。

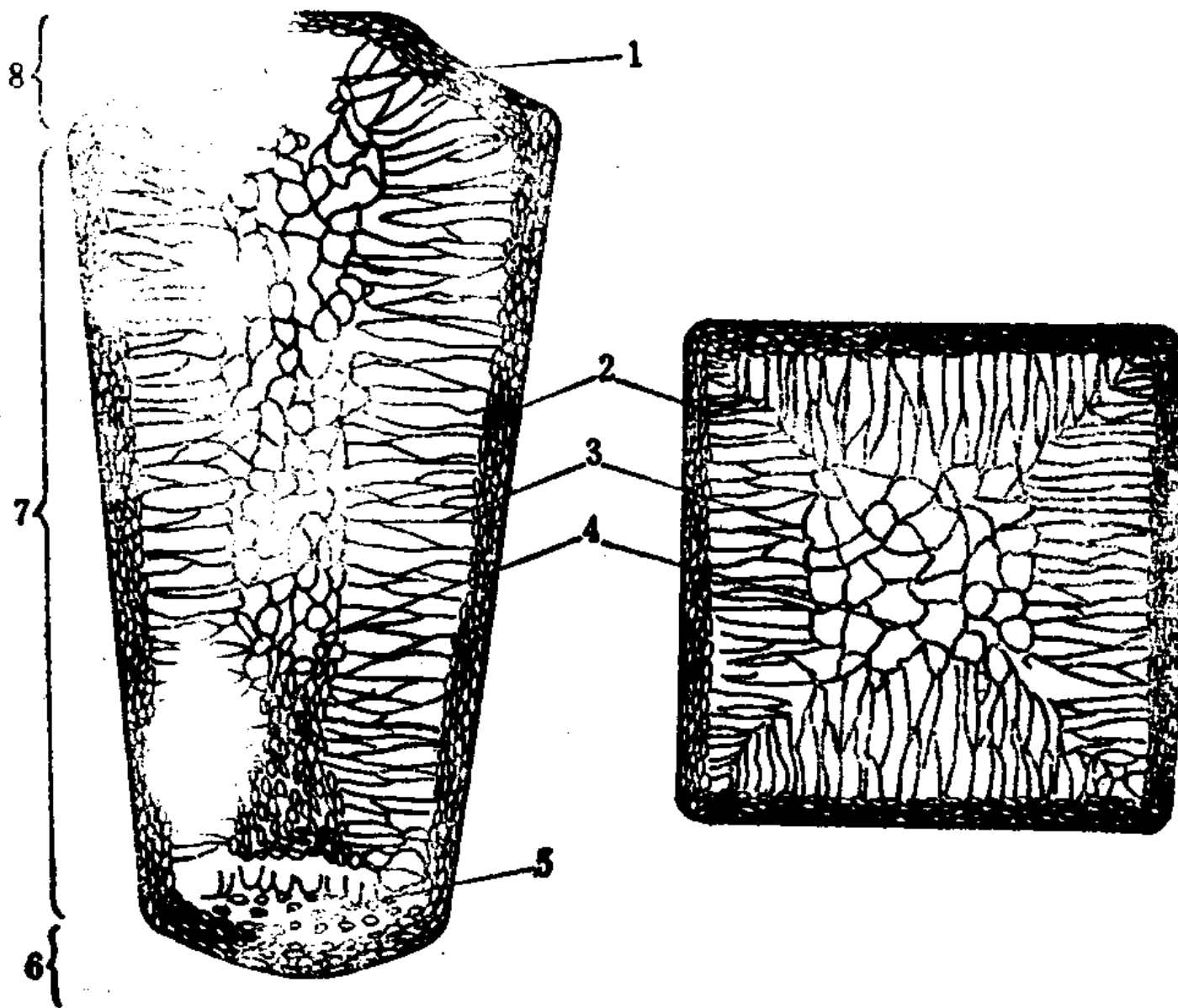


图1-2 钢锭的构造示意图

1—缩孔 2—表面细晶粒层 3—柱状晶粒层 4—粗大等轴晶粒层
5—底部沉积区 6—底部 7—锭身 8—冒口

(1) 细晶粒层 该层特点是晶粒细小、组织致密、成分较均匀。形成原因是钢锭注入锭模后，与冷模壁接触，在接触处受激冷达到很大的过冷度，粗糙的模壁成了结晶的核心。这时生核速度远较其成长速度快得多，而且它们相互阻碍着成长，结果钢锭的表面层形成细小无定向的等轴细晶粒层。

(2) 柱状晶粒层 其特点是由垂直于模壁的、彼此平行的柱状晶粒组成，组织也较致密。形成原因是随着钢锭外

壳及模壁变热，铸锭模的温度升高，因而散热速度变慢，过冷度减小，液态金属的形核数目减少。但仍有一定的晶粒长大速度，故细晶粒层中长大方向与散热方向（散热方向垂直于模壁）一致的晶粒继续长大，与散热方向不一致的晶粒长大受到阻碍，形成了彼此平行的、粗大而密集的柱状晶粒。

(3) 粗大等轴晶粒层 由粗大的等轴晶粒组成，组织较疏松。形成原因是由于柱状晶层的形成，使得散热更加缓慢。剩余的液态金属的温度逐渐变为均匀，散热方向性已不明显，当过冷到熔点以下时，会在剩余液态金属整个内部同时形成晶核而进行结晶，这些晶粒的长大阻止了柱状晶粒的继续长大，因而在铸锭中心部分形成了等轴晶粒区。由于中心部分冷却慢，过冷度小，故形成的晶核较少，晶粒较粗大。

2. 钢锭的缺陷

(1) 缩孔及疏松 缩孔是最后结晶的钢液凝固时发生体积收缩而得不到补充所造成的空穴。它容易产生在钢锭的中心或上部。疏松是晶间钢液最后凝固收缩造成的晶间空隙和钢液凝固过程析出气体而构成的显微孔隙。疏松使铸锭的致密度降低，与缩孔不同的是，疏松处没有杂质，表面也不会被氧化，如果在锻造时增大变形程度，疏松可以被锻合。在浇注钢锭时，采用保温冒口，就是为了减缓钢液的冷却速度，以利于这些缺陷集中在钢锭的顶部，便于以后切除。

(2) 偏析 钢锭内部化学成分和杂质分布的不均匀性称为偏析。高于钢锭平均化学成分叫做正偏析，反之为负偏析。偏析还可分为树枝状偏析（显微偏析）和区域偏析（宏观偏析）。

树枝状偏析 是指钢锭在晶体范围内化学成分的不均匀

性。晶体枝间杂质比枝干的多，造成晶内偏析。晶体边界杂质比晶内的多，形成晶间偏析，如图1-3所示，树枝状偏析通过锻造和锻后热处理可以消除。

区域偏析是指钢锭化学成分在宏观范围内分布的不均匀性。钢锭内存在着不同的偏析区，如图1-4所示。首先凝固的高纯度晶体在重力作用下向下沉积，而杂质气泡却上浮，再加上凝固过程的冷缩作用，在倾斜树枝晶区和粗大等轴晶区之间形成 Λ 型偏析区，呈断续条纹状。经检验分析证明， Λ 型偏析区属于正偏析，硫、磷含量很高，同时还存在大量显微孔隙和疏松。V型偏析区分布在粗大等轴区上面，因为此处凝固较迟，含有较多的硫化物夹杂和疏松，所以也属于正偏析。在V、 Λ 型偏析区的交界处，形成八字形条纹的过渡偏析区，集中了更多的硫和磷等夹杂、显微孔隙及疏松，因而也属于正偏析。

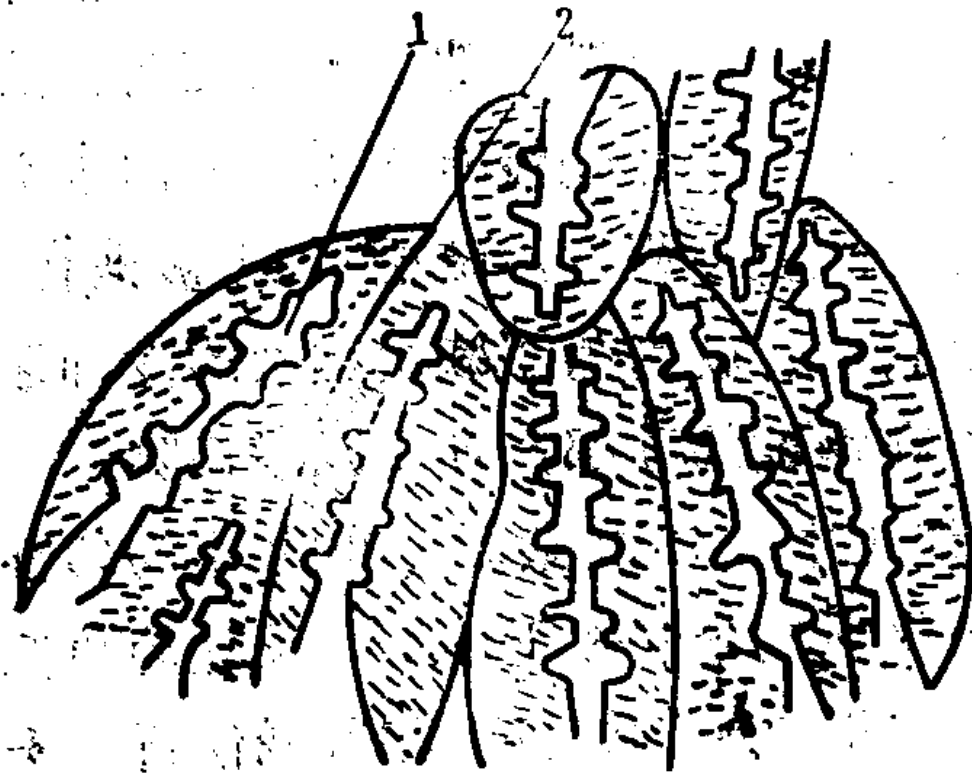


图1-3 树枝状偏析
1—树枝晶体枝干 2—晶体边界

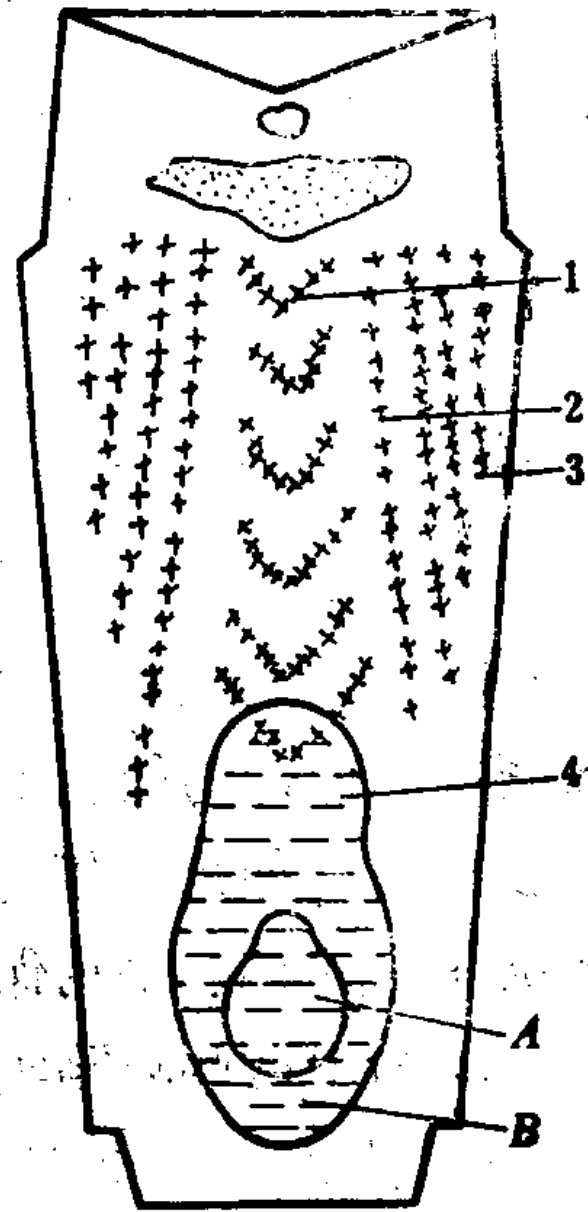


图1-4 大型钢锭的
区域偏析

1—V形偏析 2—过渡
偏析区 3— Λ 形偏析区
4—负偏析区

位于钢锭下部的 A、B 两区是负偏析区。这两区内的合金成分和夹杂较少，但熔点高的氧化物却较多。偏析导致钢的机械性能的不一致，严重的会造成锻件报废。

(3) 非金属夹杂 钢锭内部不溶解于基体金属的非金属化合物，经过加热、冷却、热处理仍不能消失的，称为非金属夹杂物，非金属夹杂物存在于锻件中，会产生应力集中和显微裂纹，降低锻件的机械性能。如果分布在晶界上的低熔点夹杂物（硫化物）过多时，锻造时会引起热脆现象，严重地降低了钢锭的锻造性能。非金属夹杂物通常在钢锭的底部沉积较多，所以锻造用材，应将钢锭底部切除。引起热脆危险的硫化物夹杂，多出现在钢锭心部，且接近冒口区，锻造用材也应切除。

(4) 白点 一般认为白点是由于钢中的氢引起的。当钢锭在某一温度范围内冷却较快时，钢中氢原子析集到疏松或夹杂处化合成为氢分子，产生巨大压力，并与钢发生组织转变时所产生的局部内应力相结合，致使钢锭内部产生细裂纹。从低倍试片上可以看到，在试片纵向断口上，裂纹形状呈椭圆或接近圆形、直径为零点儿毫米至几毫米的银白色的斑点；在试片横向断口上呈现为极细的裂纹，这种缺陷称为白点。如果开坯或锻造方法不当，白点还会存留在钢材和零件当中。钢中如存在白点会大大降低钢的塑性和韧性，而且由于白点带来高度应力集中，热处理淬火时会使零件开裂，或零件使用中突然发生断裂，引起严重事故。因此，白点是锻件的一种致命缺陷。为了预防白点产生，可采用降低钢中氢含量及减小内应力等方法。对已存在轻微白点的钢材，可采用适当的锻造比重新锻造，然后缓冷；或者先进行一次退火，然后再采用上述工艺进行处理等措施来消除。但经消除白点的钢

材，用于不重要的部件较为妥善。

(5) 气泡 在钢的冶炼过程中，氮、氢、氧等气体，通过炉料和炉气溶入钢液，钢液在凝固时，这些气体虽然析出一部分，但在固态钢锭中仍留有残余气体。氧和氮在钢锭内以氧化物和氮化物出现，氢则以原子状态存在，也可能形成一部分分子状态氢和氢化物。氢是钢锭中危害最大的气体，如果氢含量超过一定的极限值（ $2 \sim 3 \text{ cm}^3/100\text{g}$ ），则锻后冷却过程中在锻件内部会产生白点和氢脆缺陷。在一般钢锭中，上部氢含量比底部高，心部氢含量比表层高，在夹杂物集中的区域，缩孔和疏松甚至晶界上都有比较高含量的氢。

此外，有些气体未能排出，又不能溶解，而是以气泡形式存在于钢锭内部或接近钢锭表层，有时充填于缩孔和疏松中构成气体缺陷。位于钢锭内部的气泡在锻造时是可以锻合的，故其危害不大，但皮下气泡常会在锻造时造成表面重皮和裂纹。

(6) 穿晶 钢锭的3层晶粒结构在不同的散热条件下其厚度比例是不相同的。如果浇注钢液的温度较高，模壁的散热较快，已结晶的金属导热性较好，则柱状晶粒能一直长大到铸锭中心，直到与相对长大的其它柱状晶粒相碰为止，这种组织叫做穿晶组织，如图1-5所示。

在柱状晶粒的交界处（沿钢锭横截面上的对角线处），常

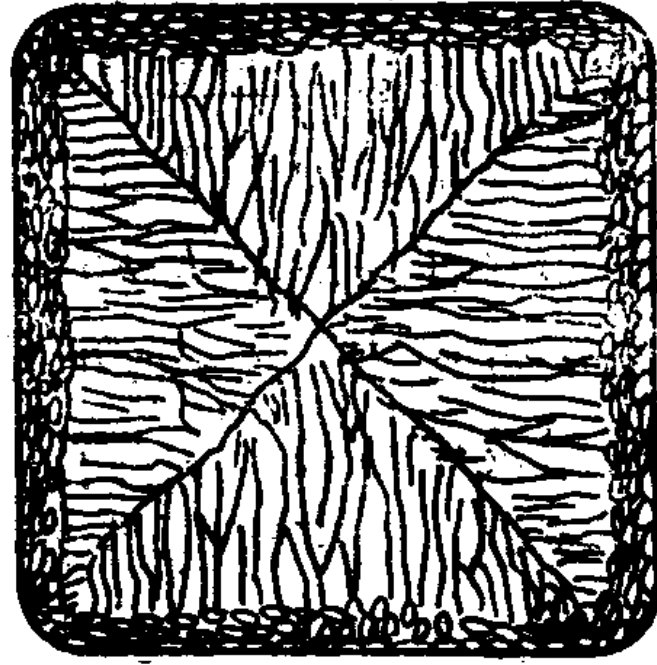


图1-5 穿晶组织

分布有易熔的杂质及其金属夹杂物，在随后进行锻造时，就容易沿着该处发生破裂。在高合金钢锭中容易产生穿晶缺陷。

(7) 裂纹 由于浇注工艺和钢锭模设计不当等原因，会使钢锭表面产生裂纹。锻造前应将裂纹清除，否则在锻造时这些裂纹会深入钢锭内部而导致锻件报废。

(8) 溅疤 采用上注法浇注钢锭时，部分钢液冲击钢锭模底而飞溅起来的溅珠粘附在模壁上，由于溅珠不能和钢锭凝固成一体，因而在冷却后就形成了溅疤。钢锭上的溅疤，在锻造前应铲除，否则会形成夹层。

二、钢材及其缺陷

锻造用钢材有锻坯、轧坯和轧制型材。其主要缺陷有结疤、划痕、折叠、表面裂纹、发纹、缩孔、疏松、非金属夹杂、白点等，如图1-6所示。

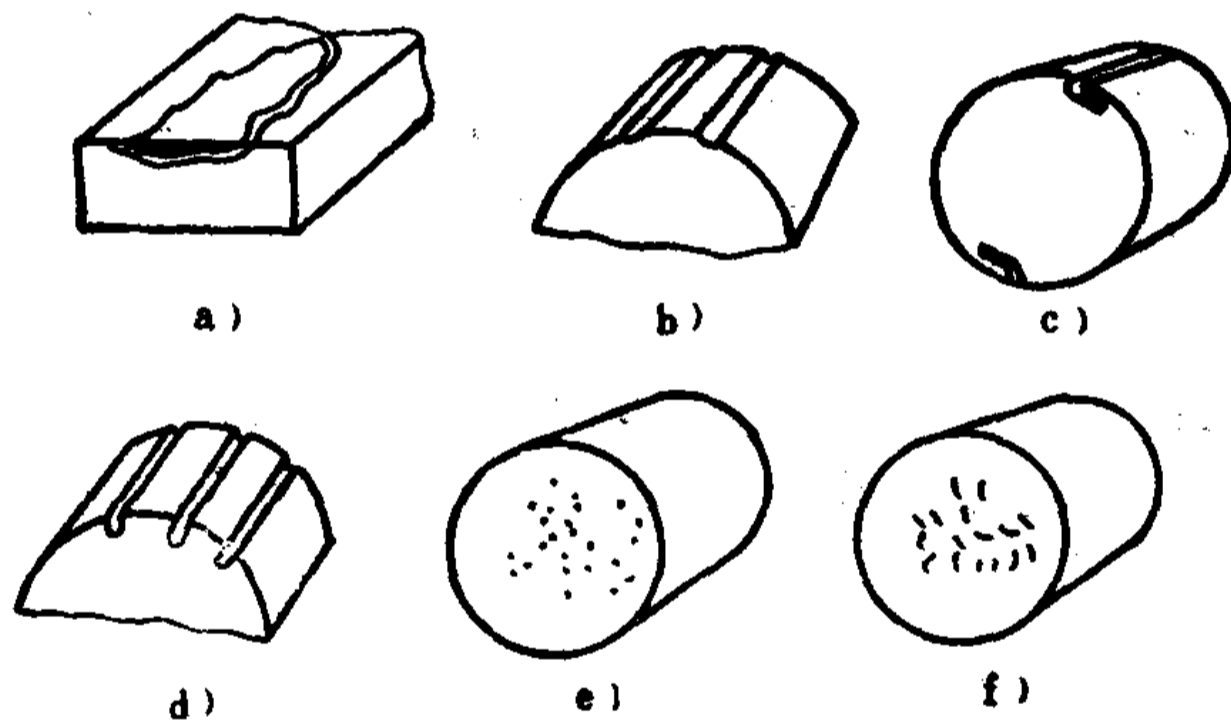


图1-6 钢坯的缺陷

a) 结疤 b) 划痕 c) 折叠 d) 表面裂纹
e) 非金属夹杂物 f) 白点

1. 结疤 是指钢坯表面粗糙不平、形状不规则和大小不一的凹坑，深度约2~3mm。产生结疤的原因主要有两方

面：其一是钢材因加热氧化剧烈，表面存在较厚的氧化皮，在轧制过程中，除一部分氧化皮脱落以外，另一部分则被压入钢材表面，冷却后即在表面产生结疤。再有钢锭的溅疤经开坯后在表面上形成可剥落的金属层而形成结疤。

2. 划痕 是由于轧制设备的某些零件与所轧钢坯摩擦而产生的，其外形各不相同，一般深度为0.2~0.3mm。

3. 折叠 它是由于材料表面在前一道轧制工序中所产生的突出的尖角，在随后轧制时压入金属本体而形成的。有的分布在钢坯一侧，有的则分布在钢坯两侧。许多情况下，折叠与裂纹很难区别。若折叠深度在加工余量之内，可采取机械加工方法予以去除，若超过加工余量，则只能报废或改小尺寸使用。

4. 表面裂纹 由于钢锭在轧制或锻前未清除裂纹或者钢锭加热升温速度过快而产生裂纹，在开坯过程中这些裂纹进一步扩大，并会严重影响锻件质量。

5. 发纹 钢材表面及内部沿轧制方向出现的细小裂纹叫做发纹。产生这种缺陷的原因主要有两方面。其一是硫化物沿轧制方向延伸所造成的。其二是由钢锭的皮下气泡沿轧制方向被拉长而形成的。发纹必须在锻前除去，以免在锻造加热时，温度急剧的改变导致发纹向深处扩张而造成锻件报废。

6. 缩孔、疏松、夹杂 钢锭中的缩孔、疏松、夹杂由于开坯不当仍存留在钢坯中，形成钢坯中的缺陷。夹杂聚集处又会形成裂纹。

§ 1.2 锻造材料的加热方法

锻造材料的加热是锻造工艺过程中一个必不可少的工

序，通过加热可以提高金属塑性、降低变形抗力、使之易于获得良好的锻后组织。金属坯料的加热方法，按所采用的热源不同，可分为火焰加热与电加热两大类。

一、火焰加热

火焰加热是利用燃料（煤、焦炭、重油、柴油和煤气）在火焰加热炉内燃烧产生热能，通过热传导、对流、辐射使金属坯料加热。该种加热方法具有燃料来源方便，炉子修造简单，加热费用较低，对坯料的适应范围广等优点。因此，广泛地用于各种大、中、小型坯料的加热。其缺点是：劳动条件差、加热速度慢、加热质量难于控制。

二、电加热

电加热是通过把电能转变为热能来加热金属坯料的。其中有感应电加热、接触电加热、电阻炉加热和盐浴炉加热等。

1. 感应电加热 感应电加热的原理如图1-7所示，在感应器通入交变电流产生的交变磁场作用下，金属坯料内部产生交变涡流。由于涡流发热和磁化发热（磁性转变点以下），便直接将金属坯料加热。

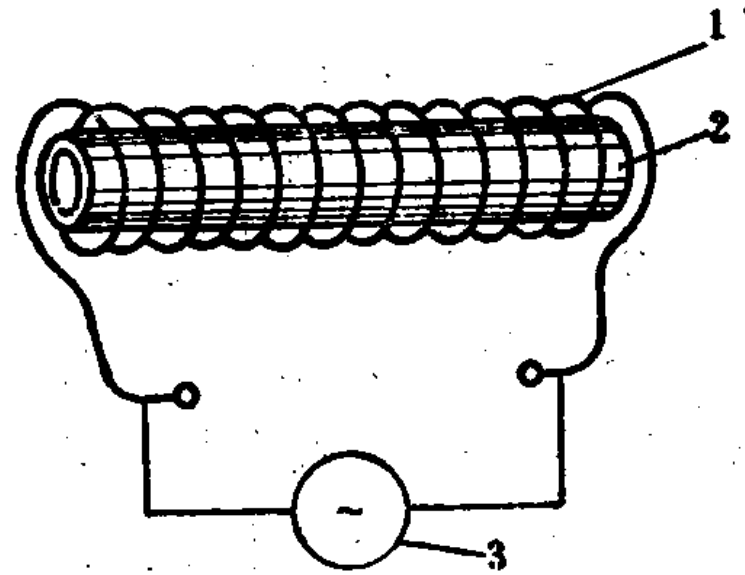


图1-7 感应电加热原理图

1—感应器 2—坯料 3—电源

坯料进行感应电加热时，内部产生的电流密度沿断面分布是不均匀的，中心电流密度小，表层电流密度大，这种现象称为集肤效应。电流通过表层的厚度 δ 称为电流透入深度，可按下列式计算：

$$\delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (\text{cm})$$