



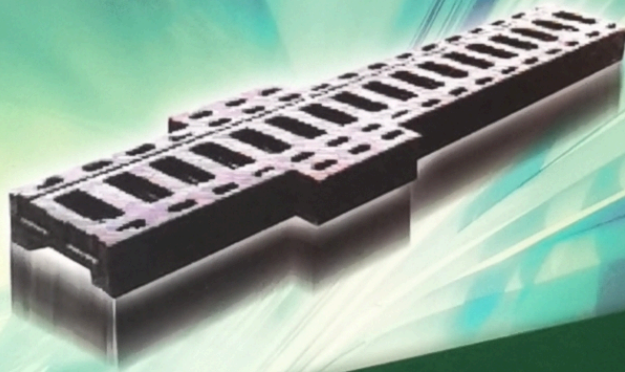
“十三五”职业教育国家规划教材



金属材料与热处理

新世纪高职高专教材编审委员会 组编
主 编 王书田

第三版



大连理工大学出版社

目 录

绪 论	1
模块一 金属的力学性能	4
学习任务一 金属的物理、化学和工艺性能	5
学习任务二 强度与塑性	9
学习任务三 硬 度	15
学习任务四 冲击韧性、疲劳极限及耐磨性	20
综合训练	25
模块二 金属的晶体结构	28
学习任务一 理想金属的晶体结构	28
学习任务二 实际金属的晶体结构	33
综合训练	36
模块三 金属的结晶	38
学习任务一 结晶现象	38
学习任务二 晶体的形核与长大	40
学习任务三 结晶的条件	43
学习任务四 晶粒大小的控制	44
综合训练	47
模块四 合金的相结构	51
学习任务一 固溶体	51
学习任务二 金属化合物	54
综合训练	55
模块五 合金的结晶	57
学习任务一 匀晶相图	58
学习任务二 共晶相图	63
学习任务三 包晶相图	67
学习任务四 铁碳相图	74
综合训练	88

模块六 钢的热处理	96
学习任务一 钢在加热和冷却时的组织转变	97
学习任务二 钢的热处理基本工艺	110
综合训练	129
模块七 金属的塑性变形与再结晶	141
学习任务一 金属与合金的塑性变形	142
学习任务二 冷变形金属在加热时的变化	152
学习任务三 金属的热变形加工	156
综合训练	159
模块八 工业用钢	162
学习任务一 工程结构用钢	164
学习任务二 机器零件用钢	168
学习任务三 工具钢	175
学习任务四 特殊性能钢	184
综合训练	194
模块九 铸 铁	197
学习任务一 铸铁的石墨化及影响因素	198
学习任务二 灰铸铁	202
学习任务三 球墨铸铁	205
综合训练	215
模块十 非铁合金	217
学习任务一 铝合金	218
学习任务二 铜合金	223
学习任务三 滑动轴承合金及其他非铁合金简介	229
综合训练	232
参考文献	234
附 录	235

模块四 合金的相结构

内容提要 with 学习指导

合金的性能取决于组织,而组织又首先取决于合金中的相。因此,为了掌握合金的性能,首先必须要了解合金的相结构及其性质。根据合金中各个元素的相互作用,合金的相结构大致可分为固溶体和金属化合物两大基本类型。掌握这部分内容首先应理解基本概念,然后掌握与之对应的性质及对合金性能的影响。

通过本模块的知识学习和实际操作,学生应达到:

- 掌握固溶体和金属化合物的概念。
- 掌握合金相结构形成规律。
- 掌握合金相结构对材料性能的影响规律。

知识点

1. 固溶体及其性质。
2. 金属化合物及其性质。

技能点

1. 固溶体对金属性能的影响规律。
2. 金属化合物对金属性能的影响规律。

学习任务一 固溶体



纯金属在实际中虽然得到了一定的应用,但由于纯金属除了具有较高的导电性、导热性外,力学性能一般都比较低,而且价格较高,因此,在工业上广泛应用的大多数是合金。

任务提出

什么是合金呢？合金是怎样形成的？合金有什么组织和性能呢？

任务分析

工业上应用广泛的钢铁材料主要是由铁和碳组成的合金，黄铜则是由铜和锌组成的合金，青铜和硬铝等也都是合金。合金与组成它们的纯金属相比，除具有更高的力学性能外，有的还可能具有强磁性、耐蚀性等特殊性能。同时，还可以通过调节元素的组成比例来获得一系列性能各不相同的合金，用来满足工业生产中不同的需求。

相关知识

一、基本概念

合金是指由金属元素与其他元素结合而形成的具有金属特性的物质。组成合金的最基本的、独立的物质称为组元。组元就是组成合金的化学元素或其化合物。例如，普通黄铜的组元就是化学元素铜和锌，铁碳合金的组元就是化学元素铁和碳。根据组元的数目不同，合金可分为二元合金、三元合金和多元合金。由两个组元组成的合金叫作二元合金；由三个组元组成的合金叫作三元合金；由三个以上组元组成的合金叫作多元合金。由给定组元按一定比例配制成一系列成分不同的合金，这一系列合金组成一个合金系统，简称合金系。由两个组元组成的为二元系；由三个组元组成的为三元系；由更多组元组成的为多元系。

相是指物质中具有同一化学成分、同一结构和原子聚集状态、同一性质，并以界面互相分开的、均匀的组成部分。相是物质微观结构中的一个组成部分，只要化学成分、结构、性质有一方面不同，则分别是不同的相。例如水和冰，虽然化学成分相同，但是由于结构和性质不同，所以分别是不同的相，水是液相，冰是固相；石墨与金刚石也是如此，只不过两个全是固相而已。一种物质可以有許多相，同样许多物质也可以组成一个相，如盐水、糖水、空气等。

合金中不同形状、大小、数量和分布不同的相组合而成的综合体称为组织。组织是相的综合体。在金属或合金中，由于形成条件的不同，各种相将以不同的数量、形状、大小互相组合，因而形成不同的组织。如果形成的组织由一个相构成，则称为单相组织；如果形成的组织由两个或两个以上的相构成，则称为多相组织。

二、固溶体

合金的相结构是指合金中相的晶体结构，也就是合金相中原子的具体排列规律。按合金组元间相互作用不同，合金在固态下的基本结构分为固溶体和金属化合物两类。下面介绍固溶体。

1. 固溶体及其分类

我们知道,溶液是由溶质溶解到溶剂中形成的一个均匀系统,这个系统由于能够溶解溶质,因而称为溶体。由于外在形态是液体,故称为液溶体,习惯称为溶液。如果这个系统的外在形态是气态,则称为气溶体;显然,如果外在形态是固体,则称为固溶体。

合金中的组元间在固态下溶解而形成的均匀相称为固溶体。与溶液一样,固溶体同样有溶质和溶剂,不过,由于金属和合金在固态下是晶体,因此,固溶体也是晶体,并且保持着溶剂的晶格类型,而不管溶质原来是什么晶格类型。

根据溶质原子在溶剂晶格中所占位置,固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体两类。

(1) 置换固溶体

溶质原子以置换、替代的方式占据了部分溶剂晶格类型原子所处的位置而形成的固溶体,称为置换固溶体,如图 4-1(a)、图 4-1(b)所示。

(2) 间隙固溶体

溶质原子进入溶剂晶格类型的原子间隙位置而形成的固溶体,称为间隙固溶体,如图 4-1(c)所示。

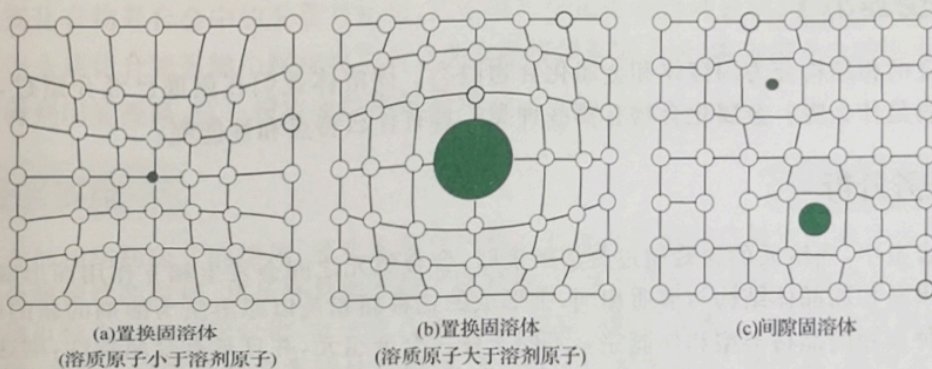


图 4-1 固溶体类型示意图

按溶解度的不同,固溶体可分为无限固溶体和有限固溶体。由于溶剂晶格原子的间隙有限,溶解度有限,因此间隙固溶体都是有限固溶体。此外,根据溶质原子进入溶剂晶格类型的位置是否有规律性,又分为有序固溶体和无序固溶体。没有规律的称为无序固溶体。

2. 固溶体的性能

固溶体形成后,虽然保持着溶剂原子的晶格类型,但是溶质原子的溶入,将会使溶剂原子的晶格常数发生变化,从而导致溶剂原子的晶格发生扭曲变形,这种晶格发生扭曲变形的现象称为晶格畸变,如图 4-1 所示。晶格畸变会增大金属材料的变形抗力,导致材料强度、硬度提高,而塑性、韧性下降。通过溶入溶质元素形成固溶体,而使金属材料的强度增加的强化方法,称为固溶强化。固溶强化是提高金属材料力学性能的重要方法之一。只要适当控制固溶体中溶质的含量^①,就可在显著提高金属材料强度的同时,仍能保持材料具有较高的塑性和韧性。

注:①本书中“含量”若无特殊说明,均表示质量分数。

任务实施

通过学习我们知道,合金是指由金属元素与其他元素结合而形成的具有金属特性的物质。即合金必须至少含有一种金属元素,其他的可以是金属元素,也可以是非金属元素,而且形成的必须是具有金属特性的物质。例如,铜和锌都是金属,铜与锌形成的合金具有金属特性,所以是铜锌合金;铁是金属,碳是非金属,铁与碳形成的合金具有金属特性,所以是合金;钠是金属,氯是非金属,钠与氯形成的物质不含金属,所以,钠与氯形成的物质不是合金;同样,氧化钙形成的物质也不是合金。合金是通过溶质溶入溶剂晶格而形成固溶体的方式形成的,固溶体保持溶剂的晶格类型,随着溶质溶解度的增大,合金的强度、硬度升高,而塑性、韧性下降。

学习任务二 金属化合物



任务提出

合金的相结构分为固溶体和金属化合物两类。固溶体我们在前面已经介绍过,那么金属化合物是什么呢?金属化合物有哪些种类?具有什么特点和性能呢?

任务分析

在合金中,当溶质的含量超过其溶解度时,合金组元之间会发生相互作用而形成一种新相。如果新相的晶体结构与溶质相同,则形成的这种新相是以原溶质为溶剂的新的固溶体;如果这种新相的晶格类型和性能完全不同于任一合金组元,并且具有金属特性,则这个新相称为金属化合物。金属化合物一般可用化学分子式来大致表示其组成。

相关知识

金属化合物一般都具有晶体结构复杂、熔点高、硬度高、脆性大的特点。当合金中出现金属化合物时,将会使合金材料的强度、硬度以及耐磨性提高,但也会使材料的塑性和韧性降低。金属化合物是许多合金材料的重要组成相。

根据金属化合物的形成条件和结构特点,金属化合物可分为正常价化合物、电子化合物、间隙相和间隙化合物。

1. 正常价化合物

正常价化合物的特点:遵循一般化合物的原子价规律,成分固定,具有很高的硬度和脆性,可用化学分子式表示。如果能够弥散分布于固溶体中,可以起到强化相的作用。如铝镁硅合金中的强化相 Mg_2Si 就是正常价化合物。

2. 电子化合物

电子化合物是按照一定价电子数与原子数的比值,即电子浓度形成的具有某种晶体结构的化合物。电子化合物也具有很高的硬度和脆性,可用化学分子式表示,但成分却可以在

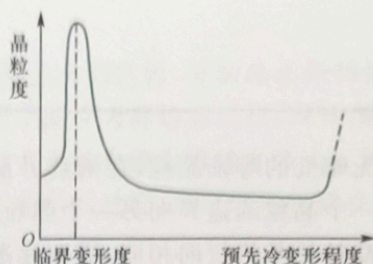


图 7-18 金属再结晶后的晶粒度与预先冷变形程度的关系

任务实施

根据以上知识,可以对任务中提出的问题做出分析:冷变形金属的组织结构发生了变化,晶格畸变严重、位错密度增加、晶粒碎化,并因变形不均匀,引起金属内部残留内应力,使金属处于不稳定状态。当加热温度升高时,原子活动能力增加,从而发生一系列组织结构和性能的变化。如果加热温度到达再结晶温度以上,可使金属材料发生再结晶退火,强度、硬度显著降低,塑性、韧性大大提高,所有力学和物理性能全部恢复到冷变形以前的状态,即内应力和加工硬化完全消除。曲线尺(纯锡材料)经反复弯曲逐渐变硬,发生了加工硬化现象,由于锡的再结晶温度低于室温,在房间内放置一段时间后,相当于对其进行了再结晶退火,故性能恢复如初;钢丝冷拉后产生了加工硬化,吊装工件随炉加热至 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$,超过钢的再结晶温度,保温 1 h 后发生了再结晶,消除了加工硬化现象,使钢丝的强度、硬度极大降低,起吊出炉时钢丝绳会突然断裂。

学习任务三 金属的热变形加工



任务提出

在生产 and 生活中,铁匠师傅常常要“趁热打铁”,锻打过程中如果温度下降,则需要重新加热后才能继续加工;用圆钢棒制作齿轮时,将圆钢棒热锻成齿坯再加工成齿轮,比将圆钢棒切下作齿坯再加工成齿轮更合理。这些是为什么呢?

任务分析

“趁热打铁”是指铁匠师傅在打铁时,要趁热将钢材进行变形加工,当温度下降后要重新加热才能继续加工。只有达到一定温度后,才能进行后续的“打铁”,否则继续锻打可能使工件断裂,并且变形阻力增大,难以进行后续加工,这属于金属的热塑性变形加工。用圆钢棒制作齿轮时,将圆钢棒热锻成齿坯再加工成齿轮,比将圆钢棒切下做齿坯再加工成齿轮更合理,这是由热塑性变形加工对组织和性能产生的影响所致。以上现象的原因都是热塑性变形加工。

相关知识

变形加工有冷、热之分。从金属学观点来看,热变形加工和冷变形加工是根据金属的再结晶温度来划分的。再结晶温度以上进行的变形加工称为热变形加工;再结晶温度以下进行的变形加工称为冷变形加工。例如,钨的再结晶温度为 $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$,即使在 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温下进行变形加工,也仍属于冷变形加工;铅的再结晶温度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,因此它在室温下的变形加工属于热变形加工。

一、热变形加工的概念及特点

热变形加工是在再结晶能够充分进行的条件下进行的。因此,产生加工硬化和消除加工硬化是同时进行的,这样就使得热塑性变形加工具有一系列优点。焊接生产时,某些大型结构件是在再结晶温度以上进行热变形加工成形后再焊接而成。

热变形加工与冷变形加工比较,具有以下优点:

(1)金属变形抗力小。因为在高温时原子的运动和热振动增强,扩散过程和溶解过程加速,使金属滑移面上的临界切应力降低。同时,许多金属发生同素异构转变,滑移系数目增多,使变形更为协调。

(2)金属塑性高,产生断裂的倾向小。因为变形温度升高,金属发生完全再结晶,从而消除加工硬化,故金属塑性提高,产生裂纹的倾向降低。

(3)相对于冷变形加工不易产生织构。因为在高温下产生滑移的滑移系较多,使滑移面和滑移方向不断变化,因此在热变形加工中择优取向的情况较少。

(4)在生产过程中,不需要像冷变形加工那样的中间退火,从而可使生产工序简化,生产效益提高。

热变形加工除具有上述优点,还有如下的不足之处:

(1)对薄或细的工件保温困难。由于散热较快,在生产中保持热加工的温度条件比较困难。因此,对这种类型的工件目前仍采用冷变形加工(如冷轧、冷拉)的方法生产。

(2)加工工件的表面不如冷变形加工时光洁,尺寸也不够精确。这是因为热变形加工时,锻件表面会生成氧化皮,冷却后有线收缩。

(3)加工后金属材料的强度、硬度不及冷变形加工。这是因为热变形加工时再结晶的作用使金属材料的加工硬化消除而软化。

(4)对有些金属不宜进行热变形加工。例如当钢中含有较多的 FeS 时,会产生“热脆性”,容易引起金属的断裂,所以不适合热变形加工。

二、热变形加工对组织和性能的影响

热变形加工不但使金属材料的形状发生变化,而且还能使其组织和性能发生变化。发生变化的根本原因是在热变形加工时不仅有外力的作用,而且还有再结晶的发生。

(1) 使金属组织致密

具有树枝晶组织的铸锭,其内部有大量微小的缩孔、疏松、气泡等缺陷。热变形加工时,在三向压应力状态下这些缩孔、疏松、气泡等被压实或焊合,从而使金属致密度增加。金属在变形中由于加工硬化所造成的不致密现象,也随着再结晶的充分进行而消失。

(2) 使晶粒细化,夹杂物破碎

铸态组织是由柱状晶和粗大的等轴晶组成的,这种铸态组织力学性能差。经过锻造或轧制等热变形加工后,晶粒被拉长或破碎,这时由于再结晶作用,拉长的晶粒变成细小的等轴晶粒,故力学性能显著提高。

热变形加工除可使晶粒细化外,还会使夹杂物和第二相破碎。这一作用对改善夹杂物和第二相的大小和分布,提高金属的性能很有益。例如在滚动轴承钢、高速钢等钢种中,均要求碳化物细小而且均匀分布,为达到这一目的,要提高压缩比。压缩比越大,碳化物破碎得越充分,其颗粒越细小,分布得越均匀。

(3) 形成纤维组织

在铸态金属中存在粗大的一次结晶的晶粒,其边界上分布有非金属夹杂物的薄层。在变形过程中这些粗大的晶粒在金属流动最大的方向上拉长。与此同时,含有非金属夹杂物的晶间薄层在此方向上也被拉长。当变形程度足够大时,这些夹杂物可被拉成条带状、线条状。在热变形过程中,由于完全再结晶的结果,被拉长的晶粒可变成许多细小的等轴晶粒,而位于晶界和晶内的非溶物质(夹杂)却不能因再结晶而改变,仍处于拉长的状态,呈现出一条条的流线,称为热变形纤维组织。

这种纤维组织,不像由晶粒拉长所形成的冷变形纤维组织那样,可通过再结晶消除。由于纤维组织的出现,变形金属在纵向和横向上具有不同的力学性能,沿纤维组织方向具有较高的强度和塑性,而在垂直于纤维伸展的方向上性能则较差。表 7-3 列出了 45 钢(轧制空冷状态)的力学性能与纤维方向的关系。

表 7-3 45 钢(轧制空冷状态)的力学性能与纤维方向的关系

测定方向	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A /%	Z /%	KU_2 /($J \cdot cm^{-2}$)
平行于纤维方向	715	470	17.5	62.8	60.8
垂直于纤维方向	675	440	10	31	29.4

在一般情况下,纤维的方向只能用变形的方式来改变。因此在生产中,可采用适当的压力加工方式,使纤维组织所形成的流线在工件内有更为适宜的分布。如图 7-19 所示,锻制的曲轴要比切制的曲轴有更好的力学性能。

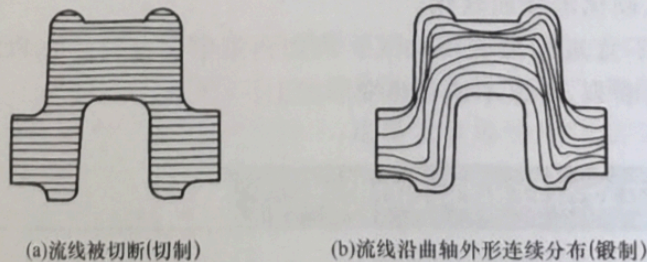


图 7-19 曲轴的纤维组织流线示意图

(4)形成带状组织

在经过热变形加工的亚共析钢的显微组织中,会出现铁素体与珠光体呈条带状沿金属的热变形方向大致平行、交替排列分布的组织,称为带状组织。钢材中出现的带状组织,使钢的力学性能呈各向异性,并降低其塑性和韧性。

任务实施

根据以上知识,可以对任务中提出的问题做出如下分析:

“趁热打铁”这种现象属于金属的热变形加工,是在再结晶能够充分进行的条件下进行的。铁匠师傅将钢件烧红后,会使金属变形抗力降低,消耗能量减少,塑性升高,产生断裂的倾向减小,从而便于金属热塑性变形加工的顺利进行。如果温度下降到低于再结晶温度后,冷塑性变形中的加工硬化及内应力等会使后续的变形加工更加困难,所以在锻打过程中如果温度下降,需要重新加热至再结晶温度以上,消除加工硬化后才能继续加工。

圆钢棒切下做齿坯再加工成齿轮,使原有的纤维组织被切断,力学性能降低,而圆钢棒热锻成齿坯再加工成齿轮,使符合齿轮受力方向的纤维组织呈流线分布,所以用这种方法制作齿轮更为合理。

综合训练

● 知识点集训

一、名词解释

滑移,加工硬化,纤维组织,变形织构,回复,再结晶,热变形加工,冷变形加工,带状组织。

二、填空题

1. 常温下,金属单晶体的塑性变形方式为_____和_____。
2. 再结晶温度是指_____,其数值与熔点间的大致关系为_____。
3. 在金属学中,冷变形加工和热变形加工的界限是以_____来划分的。因此,Cu(熔点为 1084 °C)在室温下的变形加工称为_____加工,Sn(熔点为 232 °C)在室温下的变形加工称为_____加工。
4. 所谓热变形加工,是指在_____温度以上进行的变形加工过程。

三、判断题

1. 热变形加工是指在室温以上进行的塑性变形加工。 ()
2. 热变形加工过程实际上是加工硬化和再结晶的重叠过程。 ()

四、简答题

1. 金属塑性变形的的基本方式有哪些?
2. 试说明单晶体和多晶体塑性变形的原理。
3. 分析多相合金塑性变形时,第二相的性质、形状、大小和分布对塑性变形的影响。

4. 塑性变形时,金属组织有何变化?
5. 什么叫作加工硬化? 加工硬化有何利弊?
6. 残余应力有哪几种? 作用范围如何?
7. 什么叫作回复? 有何特点?
8. 什么叫作再结晶? 有何特点? 影响再结晶后晶粒大小的因素有哪些?
9. 用冷拉钢丝绳在电炉内吊装一大型工件,并随工件一起加热。在加热完毕后,向炉外吊运时钢丝绳发生断裂,为什么?
10. 从金属学观点分析热变形加工和冷变形加工,并说明热变形加工有何优缺点。
11. 热变形加工时组织有何变化?
12. 用下述三种方法制成齿轮,哪种方法较为理想? 为什么?
 - (1) 用厚钢板切出圆饼再加工成齿轮。
 - (2) 用粗钢棒切下圆饼再加工成齿轮。
 - (3) 由圆钢棒锻成圆饼再加工成齿轮。

● 技能训练

1. 拉伸试验过程及结果分析:随变形程度增大,晶粒逐渐沿受力方向伸长,观察并分析拉伸试样组织特点。了解金属经冷变形后,变形程度对硬度和显微组织的影响。
2. 再结晶前后组织比较、观察:冷变形后的金属在加热时会发生回复、再结晶和晶粒长大等过程。观察塑性变形与再结晶后试样的显微组织特征,了解退火温度对金属再结晶后组织和性能的影响。

小 结

塑性变形是压力加工的基础,塑性变形不仅可使金属获得一定形状和尺寸的零件、毛坯或型材,而且还会引起金属内部组织结构的变化,使铸态金属的组织与性能得到改善。

1. 金属的塑性变形

单晶体塑性变形的的基本方式主要有滑移和孪生两种。在金属的塑性变形过程中,滑移和孪生两种变形方式往往是交替进行的,这样就可以获得较大的变形量。多晶体的塑性变形与单晶体比较并无本质上的区别,多晶体塑性变形的的基本方式仍然是滑移和孪生。但由于晶界的存在和每个晶粒中晶格位向的不同,多晶体的塑性变形要比单晶体复杂得多。合金的塑性变形方式也和纯金属、多晶体的情况类似。

塑性变形不但可以改变金属材料的外部形状,还可使金属的性能发生明显的变化。塑性变形可使金属材料的强度、硬度提高,而塑性、韧性下降,同时还造成电阻增大,耐腐蚀性能降低等。

2. 冷变形金属在加热时的变化

随着加热温度的升高,冷变形金属的组织 and 性能变化可分为三个阶段,即回复、再结晶和晶粒长大。

回复是指当加热温度较低时,原子活动能力较弱,只能恢复到平衡位置,冷变形金属的显微组织没有明显变化,力学性能变化也不大,但残留应力显著降低,其物理和化学性能也

基本恢复到变形前的状态。回复的特点:加热温度较低;组织、性能没有发生明显变化;应力显著下降。

再结晶是指当继续加热升温时,由于原子活动能力增大,金属的显微组织发生明显的变化,破碎的、被拉长或被压扁的晶粒变成均匀、细小的等轴晶粒。经再结晶后金属的强度、硬度显著下降,塑性、韧性明显提高,冷变形强化得以消除。

再结晶后,得到均匀、细小、无畸变的等轴晶粒,在继续升温或保温时会互相吞并长大。晶粒粗化使金属的硬度和抗拉强度降低。

3. 金属的热变形加工

在再结晶温度以上进行的变形加工称为热变形加工;在再结晶温度以下进行的变形加工称为冷变形加工。热变形加工是在再结晶能够充分进行的条件下进行的。产生加工硬化和消除加工硬化是同时进行的。热变形加工不但使金属材料的形状发生变化,而且使其组织和性能发生变化。

学习任务二 灰铸铁



任务提出

由于灰铸铁具有很多优良的性能,同时生产工艺简单、成本低,因此它是机械制造、冶金矿山等广泛应用的金属材料。

如图 9-2 所示为某机床的床身图,试根据床身的特点和性能要求,选择适当的制造材料和热处理方法。

任务分析

由于床身用于支承机床上的全部零件,主要承受较大的压应力,机床在工作时,转速很高而产生振动,所以要求床身应具有足够的强度、刚度(不易变形,提高加工精度)和良好的减振性。另外,由图 9-2 可知,床身的尺寸较大,形状复杂,还要求加工容易、造价低等。选择什么材料能满足其要求呢?

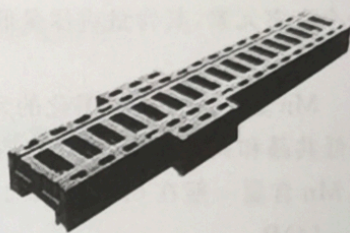


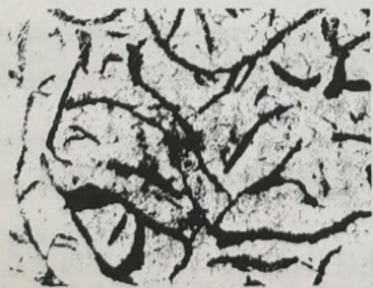
图 9-2 某机床的床身图

相关知识

灰铸铁通常是指断面呈灰色,其中的碳主要以片状石墨形式存在的铸铁。它是应用最广泛的一类铸铁,在铸铁的总产量中,灰铸铁件占 80% 以上。

一、灰铸铁的组织特点

灰铸铁的金相组织由金属基体和片状石墨组成。金属基体主要有铁素体、珠光体及珠光体与铁素体混合组织三种。石墨片以不同数量、大小、形状分布于基体中,其铁素体、珠光体与铁素体混合组织的显微组织如图 9-3 所示。



(a) 铁素体灰铸铁(200×)



(b) 珠光体-铁素体灰铸铁(200×)

图 9-3 灰铸铁的显微组织

石墨是灰铸铁的碳以游离状态存在的一种形式,它是一种软而脆、强度极低($R_m < 20 \text{ MPa}$, $A \approx 0$)、密度极低(约为 2.25 g/cm^3),而且在铸铁中形成较大的体积份额的组织。

因此常把灰铸铁看作是有大量微小裂纹或空洞的碳钢,致使金属基体强度得不到充分发挥。

二、灰铸铁的性能

在灰铸铁的组织中,金属基体与石墨是决定其性能的两个主要因素,石墨是这两个因素中的主要方面。石墨的作用是双重的,一方面使其力学性能降低,另一方面又能使得灰铸铁具有其他一些优良性能。灰铸铁的主要性能特点如下:

1. 抗拉强度较低,塑性、韧性很差

主要原因是灰铸铁中有片状石墨存在。由于石墨几乎没有强度,而且石墨片的端部都较尖,好像是存在于铸铁中的断口,所以减小了金属基体受负荷的面积。更为重要的是,在承受负荷时尖的石墨片端部造成应力集中(称为石墨的缺口作用),导致拉伸时裂纹的早期发生并发展。因此普通灰铸铁的抗拉强度很低、塑性和韧性几乎为零,可看作一种脆性材料。

灰铸铁基体中珠光体含量越多,组织越细密,则强度、硬度及耐磨性越高。石墨片的数量越多、尺寸越大、分布越不均匀,铸铁的强度、塑性及韧性越低,但石墨对灰铸铁的硬度和抗压强度影响不大,从而使灰铸铁广泛用于承受压载荷的零件,如床身、机座、轴承座等。

2. 良好的减振性和减摩性

灰铸铁内部由于存在大量的片状石墨,它割裂了基体,破坏了基体的连续性,可以阻止振动的传播,并把它转化为热能而发散,因而灰铸铁具有很好的减振性。石墨组织越粗大,减振性越好。

石墨本身是良好的润滑剂,并且在石墨被磨掉的地方形成大量的显微“口袋”,可以储存润滑油和收集磨耗后所产生的微小磨粒,因此灰铸铁具有良好的减摩性。

3. 良好的铸造性和可切削性

由于灰铸铁的化学成分接近于共晶点,所以铁水的流动性很好,可以铸造出形状很复杂的零件。灰铸铁凝固后,不易形成缩孔和缩松,能够获得比较致密的铸件。石墨在机械加工时可以起到断屑和对刀具的润滑、减摩作用,所以灰铸铁的可切削性是优良的。

三、灰铸铁的牌号和应用

灰铸铁的牌号是用“灰铁”二字的汉语拼音首位字母“HT”与一组数字表示,数字表示其最小抗拉强度 R_m 值。例如,HT150 表示最小抗拉强度 R_m 为 150 MPa 的灰铸铁。常用灰铸铁的类别、牌号及用途见表 9-2。

表 9-2 常用灰铸铁的类别、牌号及用途(摘自 GB/T 9439—2010)

铸铁类别	牌号	用途举例
铁素体灰铸铁	HT100	适用于载荷小、对摩擦和磨损无特殊要求的不重要零件,如防护罩、盖、油盘、手轮、支架、底板、重锤、小手柄等
铁素体-珠光体灰铸铁	HT150	承受中等载荷的零件,如机座、支架、箱体、刀架、床身、轴承座、工作台、带轮、法兰、泵体、阀体、管路、飞轮、马达座等

续表

铸铁类别	牌号	用途举例
珠光体灰铸铁	HT200	承受较大载荷和要求一定的气密性或耐蚀性等重要零件,如气缸、齿轮、机座、飞轮、床身、气缸体、气缸套、活塞、齿轮箱、刹车轮、联轴器盘、中等压力阀体等
	HT250	
孕育铸铁	HT300	承受高载荷、耐磨和高气密性重要零件,如重型机床、剪床、压力机、自动车床的床身、机座、机架,高压液压件,活塞环,受力较大的齿轮、凸轮、衬套,大型发动机的曲轴、气缸体、缸套、气缸盖等
	HT350	

另外,灰铸铁的强度与铸件壁厚大小有关,在同一牌号中,随着铸件壁厚的增大,其抗拉强度和硬度下降。因此,在根据零件的性能要求选择铸铁牌号时,必须注意铸件的壁厚,如果铸件的壁厚过大或过小,应根据具体情况选择性能适当提高或降低的铸铁的牌号。

四、灰铸铁的孕育处理

由于导致灰铸铁力学性能降低的主要原因是石墨片对基体连续性的破坏作用,以及石墨尖角处的应力集中的削弱作用,因而改善灰铸铁力学性能的关键是改变石墨片的数量、大小及分布。实践证明,石墨片越少、越细、分布越均匀,铸铁的力学性能越高。灰铸铁中石墨片的数量主要与C、Si的含量,特别是与C的含量有关。因此如果降低C、Si的含量,用以削弱石墨化程度,从而得到在珠光体上均匀分布有细小石墨的组织,就可以使灰铸铁的力学性能提高。但是随着C、Si含量的降低,铸铁形成白口的倾向性增大,尤其对薄壁铸件,更难免形成白口或麻口组织,反而使力学性能变坏。这一矛盾可通过孕育处理来解决,即在浇注前,向C、Si含量较低的铁水中加入一定量的孕育剂(硅铁、硅钙),以促进石墨晶核的形成。这样既能获得灰铸铁组织,又能使石墨细化,而且分布均匀,从而提高了灰铸铁的力学性能。孕育处理后的铸铁称为孕育铸铁。

五、灰铸铁的热处理

热处理可以改变灰铸铁的基体组织,但不能改变石墨的形态和分布,所以无法从根本上消除石墨的有害作用。因此,像钢一样用热处理的方法强化是不现实的。灰铸铁的热处理方式主要有两种:

1. 低温退火

形状较复杂的铸件在浇注后的冷却过程中,因各部位冷却速度不同,往往形成很大的内应力,使铸件产生变形与开裂,故需通过低温退火来消除内应力,减小变形、开裂等。

消除铸件内应力的退火方法,通常是将铸件加热到 $500\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温一段时间(每 10 mm 截面厚度保温 1 h),然后随炉冷却至 $150\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 出炉。此时铸件内应力基本消除,如果加热温度超过 $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或保温时间过长,反而会会引起石墨化,致使铸件强度、硬度降低。

2. 石墨化退火及正火

铸件在冷却时,表层及薄壁处冷却速度较快,有时会产生白口组织,局部出现共晶渗碳

体,使铸件硬度和脆性增大,难以切削加工,在使用中也易剥落。一般可采用石墨化退火及正火来消除这种缺陷。

消除铸件白口的退火方法,是把铸铁加热到 $850\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 $1\sim 3\text{ h}$,使铸件中的共晶渗碳体发生分解,最后在铸件中形成奥氏体与石墨,在以后的随炉冷却中,又使二次渗碳体及共析渗碳体发生分解,最终形成铁素体+珠光体的灰铸铁组织,从而降低铸铁的硬度,改善切削加工性。

若将铸件加热保温后不是随炉缓慢冷却,而是出炉空冷(正火),由于冷却速度快,共析渗碳体来不及分解,最终将形成珠光体基体的灰铸铁。这样既消除了白口组织,改善了切削加工性能,又提高了铸件的强度与耐磨性。

当然,白口组织的消除主要是通过控制铸造工艺因素来解决的,这里讲的只是一种辅助措施,不是生产的必需工序。

任务实施

根据所学知识和机床床身的要求,可选择强度较高的 HT200 或 HT250 制造。

灰铸铁材料强度、刚度都很高,塑性变形小,不易产生形变,这是高精度机床最主要的性能要求;笨重的铸铁材料及其高含量的石墨可以起到减振的作用。另外,超大尺寸和复杂外形的零件,选择灰铸铁可使其造价低,加工更容易。

床身尺寸大、形状复杂,在冷却过程中会产生较大的内应力。为防止铸件变形或开裂,应采用去应力退火的热处理方法消除其内应力。

学习任务三 球墨铸铁



任务提出

上述灰铸铁具有良好的铸造性能、可切削性、减振性、减摩性,但抗拉强度低、塑性和韧性很差,使其应用受到限制。如图 9-4 所示为某汽车发动机曲轴,该轴是否还可以用灰铸铁制造?请选择该曲轴的材料和热处理方法。

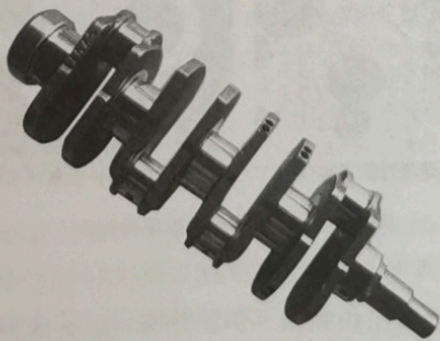


图 9-4 某汽车发动机曲轴