

锻压生产中的冷、热、温变形的划分

湘潭大学

文荫国

胡三琴

TG 311

摘要 本文叙述了目前有关锻压技术的资料、教材和专著中划分冷、热、温变形的基准不统一等情况,认为应强调以金属(或合金)的回复和再结晶温度为基准来划分。简要介绍了当前金属的回复和再结晶的主要研究成果,建议在原有冷、热、温三种变形的划分中再添加一个“亚热加工”的术语,还提出了常用工程材料——碳素钢在锻压时的冷、热、温及亚热加工变形的划分意见。

关键词 回复 再结晶 冷加工 热加工 温加工 亚热加工

一、前言

锻压生产工艺中,通常有冷变形(即冷加工)、热变形(即热加工)和温变形(即温加工)三大类之分。

国内外有关锻压技术的资料、教材及专著,对金属(或合金)的冷、热、温加工有多种叙述方法,概括起来,大多数只按坯料是否加热和加热温度的高低来区分冷、热、温变形,而忽略了变形金属内部组织和机械性能的变化。按上述方法分类已明显地出现了一些错误。众所周知,将铅和锡在室温下变形,因为它们不产生加工硬化或只有轻微的加工硬化现象,虽然也未加热,但它们不属于冷加工,而是属于热加工或亚热加工。对钨来说,因其再结晶温度高达 1200℃ 左右,因此即使将钨加热到 1100℃ 的高温进行变形也只是属于温加工或冷加工范畴。

金属学方面的文献资料和教材,一般只把金属(或合金)的变形加工分为冷加工和热加工两大类,即把再结晶温度以上的变形称为热加工,而把再结晶温度以下的变形称为冷加工,没有温加工的概念。这种划分也稍欠简单了。

近年来,有些学者也注意到了从金属学的观点来划分冷、热、温加工,但又由于回复与

再结晶使金属变形的软化过程,不象相变那样有个恒定的温度,所涉及的因素多,问题十分复杂,加之多年来所形成的习惯说法,并未能作较严格的划分。

针对金属材料塑性变形领域中的冷、热、温等加工的划分这个基本问题上,仍存在有基准不统一,划分不合理,阐述不确切等情况,有必要深入一步地进行探讨,使其能逐步明确和完善。

二、金属塑性变形后组织与性能的变化

1. 组织的变化

金属(或合金)在经塑性变形后,其内部组织结构会发生一系列的变化。较容易观察到的是经冷塑性变形后的组织,如晶粒沿变形方向拉长形成纤维组织。在晶粒内部出现滑移带、孪晶和各种形变带,同时,还出现了新的亚晶,增添了各种结构缺陷,如晶格畸变、点缺陷、位错、层错等,并且上述各种变化都是不均匀的,即使整个工件的宏观形变很均匀。根据实验测定,金属在塑性变形期间所吸收的机械功除大部分消耗在以改变金属的形状和转变为热能使工件温度升高或逸散到周围环境中

去外, 还有约 1~10% 的能量以畸变能的形式储存在金属内部, 其中又以位错和空位为最重要。位错能约占畸变能的 80~90%。

2. 性能的变化

金属(或合金)经冷塑性变形后, 其塑性指标随所承受的变形程度的增加而下降, 而其抗力指标则随变形程度的增加而提高。同时其物理性能如密度, 电阻等也发生变化。

据研究确定, 在未变形的金属晶体中的位错密度为 $10^4 \sim 10^6 \text{cm}^{-2}$, 而在经强烈冷变形的晶体中位错密度可增至 $10^{10} \sim 10^{12} \text{cm}^{-2}$, 而且是分布不均的。金属(或合金)晶体中的位错密度越大, 滑移面上的位错移动, 必须不断地切割林位错, 产生各种位错割阶, 使位错继续移动的阻力增加, 位错相交割后的不能移动的还易于在晶界塞积起来, 形成阻碍滑移的障碍, 因而导致宏观上金属材料的机械性能 σ_s, σ_b 以及硬度等显著增加, 而其塑性指标 δ 和 ψ 值的下降, 这就是通常讲的加工硬化现象。

三、 金属的回复与再结晶

经过冷塑性变形的金属, 在组织结构和机械及物理性能等方面都发生相当复杂的变化。从热力学的角度来看, 可以简单的认为, 变形所引起的各种变化集中表现为使金属的内能升高, 即形变后的金属较之形变前, 处于不稳定的高自由能状态。这样它们就具有一种向低自由能状态自发恢复的趋势。因此经冷变形后的金属在加热过程中, 一般依次经历静态回复, 静态再结晶和聚合再结晶三个阶段, 使金属的组织 and 性能恢复到变形前的状态, 但塑性变形时形成的变形组织除外。

1. 静态回复和静态再结晶

(1) 静态回复: 一般在 $(0.10 \sim 0.35) T_K$ (T_K 为金属熔点的绝对温度) 温度间发生。在较低温度下的回复, 主要是由于点缺陷的运动和点缺陷的互相结合, 使得点缺陷的浓度降低。这表现在金属(或合金)的物理性能的变

化, 如密度增加, 电阻率下降, 部分内应力的消除, 但这时金属的力学性能不出现变化; 在稍高温度的回复, 将发生位错运动, 位错重新排列和异号位错的互毁; 温度较高的回复, 则产生位错的攀移, 亚晶的长大和并吞及多边化, 胞壁变薄和位错密度降低等现象, 使电阻率下降, 密度增加, 内应力消除, 某些力学性能, 诸如硬度、强度等均有不同程度的下降。

(2) 静态再结晶: 一般工业纯金属在冷变形结束后加热至最低再结晶温度 T_K' ($T_K' = (0.4 \sim 0.5) T_K$) 以上时, 将形成一些位错密度很低的新晶粒, 这些新晶粒不断增加和扩大, 逐渐全部取代已变形的高位错密度的晶粒, 这个过程称为静态再结晶过程。再结晶后的金属(或合金), 其强度、硬度显著下降, 塑性、韧性明显提高, 内应力和加工硬化完全消除。

影响静态再结晶的因素很多。主要有: 加热温度, 保温时间, 变形程度, 原始晶粒度以及金属(或合金)的化学成分等。

静态再结晶完成后, 继续升高温度或延长保温时间, 少数晶粒会吞并周围晶粒而急剧长大, 形成极粗大的晶粒, 这种现象就是聚合再结晶或称为二次再结晶。

2. 动态回复和动态再结晶

在应力作用下所发生的回复和再结晶过程称为动态回复和动态再结晶。

(1) 动态回复: 是指在金属变形过程中由于螺旋位错的交滑移而引起的部分软化现象。它主要发生在层错能高的金属(或合金)的较高温度的加工过程中, 如铝及铝合金、铁素体钢、锆合金以及密排六方的金属等。这些金属(或合金)材料即使在远高于静态再结晶温度下进行加工, 无论变形程度多大, 通常也不发生动态再结晶, 动态回复是这些材料在高温下塑性变形过程中唯一软化机构。因为它们晶体中的位错交滑移和攀移比较容易进行。

动态回复过程中, 随变形程度的增加, 晶粒形状随主变形方向伸长, 而其亚晶组织始终保

持等轴的形态。降低变形速度和提高变形温度、亚晶尺寸增大,亚晶组织的位错密度降低。

(2) 动态再结晶:是指直接发生在变形过程中的再结晶过程。它主要发生在层错能低的金属中,如铜及铜合金、镍及镍合金、金和银及其合金、 γ -铁、奥氏体不锈钢等,这类金属不易产生层错,交滑移和攀移比较困难,不易产生动态回复。因此在较高温度的变形中,以动态回复为主的金属,变形后经一定孕育期后产生静态再结晶;以动态再结晶为主的金属,变形后还发生无孕育期的准动态再结晶,这些都使变形的金属继续软化。

四、冷、热、温等加工的划分

综上所述,变形后的金属(或合金)组织和性能取决于动态回复或动态再结晶及准动态再结晶,也取决于静态回复和静态再结晶。而无论是对动态的或静态再结晶来说,又受金属(或合金)材料的种类、形变温度、形变速度和形变程度诸因素的影响;对于静态回复和静态再结晶来说,除上述诸因素外,还与两次变形加工中的停留时间和加工结束后的冷却速度有关,因此问题是异常复杂的。回复和再结晶实在是现今金属学中最复杂的现象之一。尽管由于它们的技术重要性而进行了大量的研究,但到目前为止,仍有很多问题需要去探讨。虽然如此,以我们对它们已认识了的知识,还是足可说明在锻压加工中,以回复和再结晶温度为基准来划分冷、热、温等加工是恰当的和合理的,应该明确强调并统一到这个观点上来。但由于问题的极其复杂性,在用回复和再结晶温度为基准来划分之前,需作以下两点假定:

(1) 变形速率适中:金属(或合金)在塑性变形时的变形速度 $\dot{\epsilon}=10^{-1}\sim 10^2\text{s}^{-1}$ 内,属于常规锻压设备上的变形加工,如水压机、摩擦压力机、曲柄压力机和锻锤等设备上的变形加工,而不是利用爆炸成形、水电成形、电磁成形等高速高能成形。

(2) 变形程度都应超过该金属(或合金)的临界变形程度。

1. 各种加工变形的划分

根据以上分析和假定,我们认为在锻压生产的冷、热、温三种常见的变形加工中,还应增加一个“亚热加工”的术语,并将其作如下的划分。

(1) 热加工:当金属(或合金)在塑性变形的同时能进行动态回复或动态再结晶(即在金属中平行地进行着强化和软化过程),以消除加工硬化的影响。以激烈的动态回复产生的亚晶和以动态再结晶产生的新晶粒均为等轴形态。

(2) 亚热加工:我们认为应增加一个“亚热加工”的术语。过去也有些学者注意到了这个温度区间,称为“半热加工”。但“半”字不够确切,称之为“亚热加工”要恰当些。

亚热加工的定义为:当金属(或合金)的加工温度在静态再结晶温度以上,低于动态再结晶(或动态回复)温度的变形加工。此时在变形过程中既有加工硬化,又在变形后产生静态再结晶(或静态回复)的软化过程,但软化作用不能与加工硬化平行地进行,在变形过程中的金属内部有加工硬化的特征。

(3) 温加工:当金属(或合金)在静态再结晶温度以下,中温静态回复温度以上变形时,既有强烈的加工硬化,也有静态回复的软化,但软化作用远远抵消不了加工硬化的影响。在变形后的金属(或合金)内部总是较多地保留加工硬化的特征。

(4) 冷加工:当金属(或合金)在中温静态回复温度以下变形时,则位错密度急速上升,剧烈地产生加工硬化,不产生软化过程,使金属(或合金)的强度、硬度显著增高,而塑性、韧性明显下降。

2. 碳素结构钢的各种加工的划分

按照上述的划分原则,现以碳素结构钢为例说明其划分。因碳素结构钢的最低静态再结晶温度为 600°C 左右,而动态再结晶温度为

22 -26,30 板材折弯的自动工艺规划系统

马莎 王运赣

TG 316.14

摘要 本文利用基于特征信息建模建立产品的设计模型, 讨论板材折弯零件加工特征的定义和自动提取问题, 然后总结折弯工序编排的决策知识和规则, 并在此基础上开发了板材折弯自动工艺规划系统, 实现了 CAD 和 CAM 之间的连接。

关键词 板材折弯 特征建模 计算机辅助工艺规划

CAD, CAM, 锻造

Automatic Process Planning System for Sheet Metal Bending

Ma Sha Wang Yungan

Abstract The paper builds up the product design models using information modelling based on features, and discusses the definition and automatic extracting of manufacturable features for sheet metal bendings. Then, the decision knowledge and rules about bending sequences layout have been summarized. On the basis of these, the automatic process planning system for sheet metal bending has been developed. It builds the connection between CAD and CAM.

Keywords Sheet metal bending Feature modelling Computer-aided process planning

一、概述

计算机辅助工艺规划 (CAPP) 系统是联接 CAD 与 CAM 以及生产管理系统的纽带。

~~~~~  
950℃ 左右, 其中温静态回复温度为 150℃ 左右因此在锻压生产中, 碳素结构钢的各种变形加工可作如下划分:

- (1) 热加工: 温度在 950℃ 以上的变形加工;
  - (2) 亚热加工: 温度在 600℃ 以上、950℃ 以下的变形加工;
  - (3) 温加工: 温度在 600℃ 以下、150℃ 以上的变形加工;
  - (4) 冷加工: 温度在 150℃ 以下的变形加工;
- 对碳素结构钢来讲, 一般常规的锻造温度范围实际上应属于热加工和亚热加工的范畴;

一方面, 它将输入的产品信息转变为工艺方案和各控制轴的运动指令, 另一方面, 它向生产管理系统输出有关加工工时等信息, 根据这些信息, 生产管理系统核算生产成本, 评价工艺方案的优劣, 优化生产组织。过去我国自行开

一些文献资料和专著中所指的温锻、温挤等应属于温加工和亚热加工的范畴。在低于 150℃ 的温度加工时, 就可属于冷加工范畴了。

## 参考文献

- (1) 五弓勇雄编著 金属塑性加工技术 冶金工业出版社 1987
- (2) 胡庚祥 钱苗根主编 金属学 上海科学技术出版社 1980
- (3) 章守华主编 合金钢 冶金工业出版社 1981
- (4) 汪大年主编 金属塑性成形原理 机械工业出版社 1986