

## ● 锻压技术 ●

## 大锻件两次镦拔锻造的工艺优化

史宇麟, 宋玉冰, 薛秋云

(中信重型机械公司 洛阳重型铸锻厂, 河南 洛阳 471039)

**摘 要:** 总结的两次镦拔锻造新工艺具有可靠性高, 锻透效果好, 可控制钢中夹杂物的形态和对坯料内部缺陷进行修复的独特作用, 是一种新颖的大锻件锻造工艺。特别是明确了两次镦拔新工艺中砧宽比  $W/H$  和料宽比  $B/H$  的控制、每趟压下率  $\Delta H/H$  的安排原则等, 是对 WHF 法锻造的重要补充。

**关键词:** 大锻件; 两次镦拔; 优化; 宽砧强压锻造法 (WHF)

**中图分类号:** TG316.1<sup>1</sup>; TG316.1<sup>2</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2007)01-0051-03

### Optimizing on Forging Process of Two-time Upsetting and Stretching for Large Forgings

SHI Yu-lin, SONG Yu-bing, XUE Qiu-yun

(Heavy Foundry and Forge Plant of Luoyang, CITIC Heavy Machinery Company Ltd., Luoyang 471039, China)

**Abstract:** Two-time upsetting and stretching is a new kind of technology for large forgings, which has high reliability and good forging penetration effect, can control the shape of impurity and renovate the inner forging defects. In the two-time upsetting and stretching technology, the choice of anvil ratio  $W/H$  of wide and high, blank ratio  $B/H$  of wide and high, forging ratio  $\Delta H/H$  every time is an important supplement of WHF forging method.

**Key words:** large forgings; two-time upsetting and stretching; optimization; wide die heavy blow forging (WHF)

大锻件是采用钢锭直接锻造而成的, 在锻造大直径短粗轴类锻件时, 为保证整个截面的充分锻透并合理控制钢锭吨位, 可以采用两次镦拔锻造工艺。但是两次镦拔工艺对各工步工艺参数的要求较一般锻造工艺更为严格, 也更为复杂。过去由于认识的局限, 对锻造过程缺乏系统的考虑, 因而工艺制订存在盲目性, 在反复镦拔过程中, 每一次镦拔的主要作用不明确, 工艺参数不优化, 前面工序的锻透效果可能被后继工序所削弱, 因此, 需要对各工步工艺参数进行深入的研究。

## 1 两次镦拔锻造工艺的整体思路

两次镦拔新工艺的整体思路是: 第一次镦拔的目的是在保证第二次镦粗所需坯料尺寸、应力状态的基础上, 使钢锭充分锻透, 完成主变形的基本任务。第二次镦拔的目的是保证坯料达到锻件成形所需的尺寸; 使坯料始终保持最佳的应力、应变状态, 从而避免第一次镦拔时锻合的缺陷被拉开或产生新

的锻造缺陷; 在较小的锻造比条件下, 使坯料整体有一定的变形并保证心部有较大的变形量, 以利于钢锭水、冒口鼓出, 满足切除量的要求, 避免水口堆积和冒口缩孔残余留在锻件上, 并防止锻件粗晶。

两次镦拔使坯料轴向和径向的变形基本相等, 从而为控制钢中夹杂物形态及氢的分布提供了基本条件, 同时, 通过钢锭在两次镦粗前的高温保温, 也能取得使坯料组织均匀化、高温扩散及缺陷修复等作用。

## 2 镦粗锻造的工艺参数优化

### 2.1 第一次镦粗锻造的工艺参数优化

两次镦拔工艺中的第一次镦拔同一次镦粗+拔长锻造相比有较大的不同。虽然两者都是以使钢锭充分锻透, 完成主变形为基本任务, 但是前者由于有更多的限制条件而使工艺参数控制更为复杂。两次镦拔锻造中的第一次拔长是破碎铸态组织、锻合内部孔隙性缺陷的最主要变形阶段, 是整个锻造工艺中的第一个关键环节。第一次拔长的总变形量, 取决于钢锭第一次镦粗后的直径(第一次拔长的初始直径)和第二次镦粗前坯料的高径(第一次拔长的结束直径)比。第一次镦粗的主要目的是为了增加锻比, 同时也应考虑镦粗钢锭组

收稿日期: 2006-09-06

作者简介: 史宇麟(1968-), 男, 河南洛阳人, 高级工程师, 硕士;

电话: 0379-64086305; E-mail: shi-yulin@126.com

织的改善。钢锭第一次镦粗的变形程度,即镦粗压下率 $\eta$ 或镦粗比 $P, P=1/(1-\eta)$ ,仅取决于钢锭的原始高径比。目前通常使用的钢锭(特殊的特大型矮胖钢锭除外),高径比一般在1.1~2.0。因此,不管镦粗的目的是为了增加锻比,还是为了改善锻件的组织,均应使镦粗后的高径比不大于1(压下率超过35%),以使锻件中心部位处于三向压应力状态,有利于锻合坯料内部的空洞型缺陷及减少新裂纹的产生<sup>[1~3]</sup>。考虑钢锭镦粗后还需进行拔长操作,钢锭镦粗的极限高径比应满足 $L_1/D_1 \geq 0.5$ ( $L_1$ —钢锭第一次镦粗后的高度, $D_1$ —钢锭第一次镦粗后的直径)。

从应力状态和提高镦粗中心部位锻透性考虑,第一次镦粗后的高径比应 $\leq 1$ ,压下率 $\geq 35\%$ ;从增加拔长锻比考虑,第一次镦粗后的高径比应尽可能接近极限高径比。因此,第一次镦粗后的最佳高径比应为 $L_1/D_1=0.6\sim 0.5$ 。

## 2.2 第二次镦粗锻造的工艺参数优化

第二次镦拔时坯料的应力、应变状态、变形形式等与第一次镦拔是一样的,所不同的,一是对象不同,此时的坯料经过充分锻透已从铸态组织转变为锻态组织;二是目的不同,第二次镦拔是在良好的应力、应变状态下完成锻件成型和钢锭水、冒口废料的切除。

在应力状态方面,镦粗初期坯料心部存在一定的拉应力,但由于这个拉应力数值很小,并且在瞬时高径比达到1.13后转化为压应力<sup>[1~3]</sup>。拔长的应力状态也同第一次WHF法拔长时相似,基本保持在三向压应力状态。因此,能有效避免第一次镦拔时锻合的孔隙性缺陷被重新拉开。

另一方面,从两次镦拔锻造全局来看,第一次镦拔仅仅是解决了钢锭孔隙性缺陷,而通过控制钢中夹杂物的形态来防止夹杂性裂纹缺陷<sup>[4]</sup>的任务并没有完成。

两次镦拔锻造第一次镦拔后,由于WHF法拔长的轴向大变形,坯料心部的塑性夹杂伸长成为条状,这样,在第二次镦粗过程中就可能断裂为几个更小的夹杂,并通过第二次拔长成为几个弥散的粒状夹杂,这是两次镦拔锻造控制钢中夹杂物的形态的主要方面。但是,在坯料中部的个别部位,由于第一次镦粗和拔长变形部分相互抵消,坯料水口端变形程度较小等原因,一些塑性夹杂可能还保持近似椭球状,因此,为防止第二次镦粗后

这些塑性夹杂成为片状,镦粗后的坯料高度 $L_3$ 应不大于第一次镦粗后的坯料高度 $L_1$ 。同时考虑尽可能增大第二次拔长时的锻比,应取 $L_3=L_1$ 。

## 3 拔长锻造的工艺参数优化

### 3.1 第一次拔长锻造的工艺参数优化

第一次拔长后坯料的长径比即为第二次镦粗前高径比 $L_2/D_2$ 。同第一次镦粗一样,为增加第一次拔长锻比,希望坯料镦粗前高径比 $L_2/D_2$ 尽可能大。但从前面对镦粗的应力分析可知,过大的镦粗前高径比会在镦粗变形时产生双鼓形而造成折叠,同时镦粗初期心部的拉应力也会增加。为防止将第一次拔长锻合的缺陷重新拉开, $L_2/D_2$ 一般控制在2.0~2.2。

由于两次镦粗的高径比 $L_1/D_1$ 和 $L_2/D_2$ 已经确定,根据体积不变原理,第一次拔长的总拔长锻比 $K_1$ 就是一个确定值, $K_1=2.0\sim 2.2$ 。

在这样的锻比下完成破碎铸态组织、锻合内部孔隙性缺陷的主变形任务,目前常用的拔长方法有:JTS法、FM法和WHF法等。本文所研究的两次镦拔工艺就是采用WHF法作为主变形的拔长方法。

WHF锻造法的控制要点包括:砧宽比 $W/H$ 、每趟压下率 $\Delta H/H$ 和主拔长最小锻比 $K$ 、合理错砧及高温锻造等<sup>[5~7]</sup>。近年来还有同时用料宽比和砧宽比控制锻造的工艺方法<sup>[8,9]</sup>。针对两次镦拔锻造的特殊性,应重点对以下两点进行研究。

#### (1) 砧宽比 $W/H$ 和料宽比 $B/H$ 的控制。

砧宽比 $W/H$ 是砧子宽度 $W$ 与坯料压前高度 $H$ 之比,坯料中心点上的轴向拉应力主要取决于砧宽比。随着砧宽比的增加,轴向拉应力逐渐减小,并过渡为压应力,同时也受料宽比的影响。料宽比 $B/H$ 是指坯料宽度 $B$ 与高度 $H$ 之比,中心点的横向拉应力主要取决于料宽比。随料宽比的增加,中心点的横向拉应力逐渐减小,并过渡为压应力,同时砧宽比对它也有一定影响。综合临界砧宽比、临界料宽比及压下率,确定WHF法拔长时的砧宽比 $W/H=0.6\sim 0.8$ ,料宽比 $B/H=0.80\sim 1.0$ 。

#### (2) 每趟压下率 $\Delta H/H$ 的安排原则

两次镦拔锻造中第一次WHF法拔长的总锻比,受钢锭第一次镦粗后的直径(第一次拔长的初始直径)和第二次镦粗前坯料的高径(第一次拔长的结束直径)比的限制,如果像一次镦粗+WHF法拔长锻造时那样按固定每趟压下率20%排满8

趟,则拔长后坯料的高径比过大,不能满足第二次锻粗对坯料高径比的要求。因此,在第一次 WHF 法拔长时,应对每趟压下率  $\Delta H/H$  和趟数进行调整,以满足第二次锻粗对坯料高径比的要求。

传统的 WHF 法拔长工艺认为:在主拔长的头两趟是拔长圆坯,其锻造砧宽比一般不会很大。圆坯在锻造初期,即变形小的时候,由于砧子与锻件接触面积小,使变形难于深入到锻件心部。其最佳砧宽比可以选取的与方坯锻造时一样,但在锻造中压下率要选取的比方坯锻造大 3%~6%。因此,调整头两趟的压下率较为常见,一般是将头两趟的压下率提高到 25%~30%,余下的 4 趟根据情况适当增加。

但是,在实际操作过程中发现,用拔长排 6 趟、增加压下率的方法,钢锭的锻透性较差,一次锻粗+WHF 法拔长锻造时采用这种方法(甚至压下率提高到 30%左右)往往会造成锻件超声波探伤的疏松或夹杂裂纹缺陷。经过仔细研究各方面的因素,认为造成以下情况的主要原因是:

①在第一趟拔长增加压下率后,第二趟拔长前的料宽比会随着减少。例如在用 1 200 mm 宽砧拔长直径 2 200 mm 的钢锭时,其压下率与第二趟拔长前的料宽比的关系见表 1。

表 1 第一趟拔长与第二趟拔长前的料宽比的关系

第一趟压下率 $\Delta H/H$ (%)	第二趟拔长前的料宽比 $B_2/H_2$
20	0.76
25	0.70
30	0.65

可见,第二趟拔长由于料宽比过小,造成中心横向拉应力过大,实际上不但不能锻合钢锭心部缺陷,某些缺陷还有扩大的可能。

②头两趟拔长由于是钢锭由圆截面变为方截面的过程,砧子与钢锭接触面积小,再加上钢锭原始截面较大,砧宽比较小,其锻合缺陷能力非常有限。

③由于宽平砧拔长心部变形剧烈,大的压下率有可能使某些塑性夹杂物过分拉长而造成片状夹杂物或夹杂裂纹等缺陷。

④后续仅安排 4 趟矩形截面拔长,由于实际操作时错砧不可能非常准确,最大变形很难 100%覆盖全部锻件,这样就造成锻透性较差的结果。

在 WHF 法拔长时,矩形截面拔长由于砧宽比和料宽比均能满足要求,其锻合钢锭心部缺陷的能力较强。因此,应尽量增加矩形截面拔长的趟数,而不考虑头两趟拔长的变形效果,仅考虑坯料由圆变方的截面变化。

两次锻拔锻造中,第一次 WHF 法拔长每趟压下率  $\Delta H/H$  的安排原则为:根据砧宽比、料宽比和压下率的关系,安排 8 趟拔长,头两趟拔长的压下率控制在 15%~20%,后续 6 趟拔长压下率按 20%~25%控制。

### 3.2 第二次拔长锻造的工艺参数优化

第二次拔长虽然在砧宽比、料宽比、压下率和错砧等方面均采用 WHF 法拔长的控制参数,但由于考虑锻件成型尺寸,其总锻比一般小于 2,因此,并不是严格意义上的 WHF 法拔长,可称其为宽平砧极限拔长。

在拔长趟数方面,一般安排 6 趟拔长,头两趟拔长的压下率控制在 15%~20%,后续 4 趟拔长压下率按 20%~25%控制。为在有限的变形条件下,实现坯料尽可能大的变形,满足切除钢锭水、冒口废料的需要,可采取极限拔长的办法,即在料宽比合适的情况下,预先考虑坯料在最后一趟的展宽,将坯料在一个方向的高度压至小于锻件所需直径。

## 4 结论

本文采用系统的观点研究锻造工艺,将各项工艺参数要求放在整个锻造过程中去考虑,充分研究锻粗和拔长工序之间的关系,经过优化的两次锻拔锻造工艺具有可靠性高,锻透效果好,可控制钢中夹杂物的形态和对坯料内部缺陷进行修复的独特作用,在大锻件锻造领域具有广泛的应用前景。两次锻拔工艺中提出的各项工艺参数控制要求对其他大锻件锻造工艺均有借鉴作用。

### 参考文献:

- [1] 刘助柏,王连东,梁辰等. 锻粗工艺理论与技术的进展[J]. 燕山大学学报,1998,22(1):28-31.
- [2] 刘助柏,王连东,管英平,等. 方柱体锻粗时的两个新力学模型[J]. 塑性工程学报,1995,2(3):27-31.
- [3] 王连东,刘助柏. 圆柱体( $H/D>1$ )在普通平板间锻粗时应力场计算的力学分块法[J]. 塑性工程学报,1994,1(3):20-28.
- [4] 马庆贤,钟约先,曹起骧. 大型锻件夹杂性缺陷的形成及控制锻造工艺[J]. 清华大学学报(自然科学版),2000,40(5):13-15.
- [5] 钟杰. 宽砧强压轴类大锻件的云纹法模拟研究[D]. 北京:清华大学图书馆,1986.
- [6] 杜学刚. 大型支承辊类锻件锻造工艺优化的云纹法模拟[D]. 北京:清华大学图书馆,1989.
- [7] 钟杰. 大型轴类锻件锻造工艺的云纹法模拟研究[D]. 北京:清华大学图书馆,1989.
- [8] 刘助柏. 平砧拔长矩形截面毛坯的新理论[J]. 北京:机械工程学,1994,30(5):47-49.
- [9] 梁晨,刘助柏. LZ 锻造的砧宽比、料宽比的临界值研究[J]. 北京:锻压技术,2004(3):14-16. [H]