

锻造毛坯形状优化设计的研究*

山东大学模具工程技术研究中心 (250061) 赵新海** 赵国群 王广春 王同海

摘要 近几年来, 锻造形状优化得到了众多学者的关注。本文对单工序锻造问题的毛坯形状优化进行了研究。以毛坯高径比为优化设计变量, 目标函数取为实际锻件超出预定理想直线部分的体积, 以黄金分割法进行优化迭代, 给出了目标函数的表示方法及计算表达式。并对一典型的轴对称 H 型锻件的毛坯形状进行了优化设计, 取得了明显的效果。

关键词 锻造 高径比 黄金分割 毛坯

Research on the shape optimization of billet in metal forging process

Shandong University Zhao Xinhai Zhao Guoqun Wang Guangchun Wang Tonghai

Abstract Shape optimization used in forging process is a focus point during the recent years, many research works have been made in this aspect. In this paper, a research work aimed to optimize the shape of billet of 2-dimensional forging is proceeded. The ratio of height to diameter of the cylindrical billet is taken as the optimal design variables. The volume of the part that is exceeded out the predetermined desired line is taken as the objective function. The expression of the objective function is given in detail. As there is only one optimal design variable—the ratio of height to diameter, the golden section method is used as the optimization tool. Using this method, the shape of the billet of a typical axisymmetric H-shaped forging process is optimized. The optimal results show that optimizing the billet shape is very useful and can get a satisfied result.

Keywords Forging Ratio of height to diameter Golden section Billet

一、引言

锻造过程是一个极其复杂的过程, 衡量锻件质量的指标有外部形状、材料消耗, 变形分布以及晶粒组织等各方面因素, 其中对锻件形状的要求是常用也是基本的指标之一。近几年来, 为了实现净形或近净形制造, 各国学者都对获得合理的锻件形状进行了大量的研究。Badrinarayanan^[1,2] 和 Fourment^[3,4] 等分别对预成形件形状和预成形模具形状进行了优化设计; 赵国群等^[5~7] 在美国国家自然科学基金和中国教育部霍英东教育基金等基金的资助下, 开展了这方面的研究, 并开发了相应的优化设计软件。该软件优化过程可自动进行, 实现锻造过程预成形设计的自动化。

然而, 上述研究工作都是针对两工序锻造来进行的。在现实生产中, 有许多锻件形状相对简单, 只用一个工序就可以完成整个变形过程, 属于单工序锻件; 还有一些锻件形状相对复杂, 仅用一次预成形很难完成变形过程, 这就需要两个甚至两个以上的预锻工序, 属于多工序锻件。对于这两类锻件的形状优化方面的研究, 目前国内还未见报道, 因此有必要开展单工序及多工序锻造工艺形状优化方面的研究。本文针对单工序锻造, 开展了形状优化方面的研究。

对于单工序锻件, 仅用一套模具 (终锻模) 来完成整个变形过程。由于其终锻模形状已定, 所以毛坯形状选择是否合适就成为影响最终锻件形状及质量的一个重要因素。对于轴对称锻件, 其毛坯大部分都采用的是圆柱体坯料。圆柱体坯料的形状由圆柱体的高度和直径来确定。按照体积相等原则, 毛坯的体积应与锻件的体积相等, 这就意味着对于某一个具体问题, 毛坯体积是一个常量, 所以毛坯形状的选择就转化为在体积一定的情况下, 确定圆

* 中国博士后科学基金资助项目 (中博基 2000 [23])

** 男, 28 岁, 博士研究生

收稿日期: 2001-05-02

柱体的高度或直径,即确定圆柱体的高径比。这样,轴对称锻件毛坯形状优化就转化为以圆柱体高径比为单一优化变量的一维搜索问题。

一维搜索问题是非线性最优化的最基本问题之一,其常用的方法有直接法、曲线拟合法和解析法。其中直接法中的黄金分割法不要求函数的连续性,只要能计算出函数值就可以进行优化求解,简单且优化效果较好,是一维搜索中较常用的一种方法。

黄金分割法是一种试探包围法,它的基本思路是:首先确定一个包含最优解的计算区间,并在区间内选定两个试算点,计算这两个试算点的函数值,经比较就可以把包含区间缩小一次,然后在缩小的区间内再找一个新的试算点,便可以将包含的区间再度缩小。如此反复进行,直到最后的区间充分的小,就得到最优解的近似值^[8,9]。

针对二维锻造成形过程,本文以理想锻件超出预定理想直线部分的体积为目标函数,以圆柱体坯料高径比为优化变量,采用黄金分割法对轴对称H形锻件的毛坯高径比进行了优化设计,取得了满意的效果。

二、目标函数

对于二维成形问题,假设 G 表示对应于任意一个坯料实际取得的最终成形件的形状, G' 表示模具的形状, L 表示锻件形状的理想边界直线。由于实际锻件未充满整个模具型腔,所以在锻件理想形状边界直线 L 外形成超出部分即飞边 A 。优化设计目标就是通过设计圆柱体坯料的高径比使实际工件形状超出理想边界直线部分的体积(如图1中阴影部分 A 所示)最小,从而由体积不变原理可知此时模具型腔的充填情况最好。因此,超出理想边界直线部分 A 的大小就反映了圆柱体的毛坯高径比选择合理与否,所以,本文就以超出部分的体积作为优化毛坯锻粗压下量问题的目标函数。

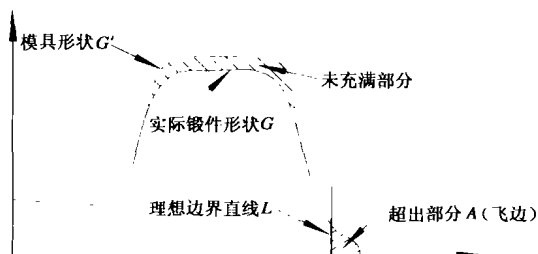


图1 目标函数简图

对于一个经有限元离散化后的工件,首先判断预定理想直线与各个单元之间的关系。若整个单元位于预定理想直线之内,则略过这些单元;若整个单元位于预定理想直线之外,则计算这个单元的体积;对于其它的单元,首先求出单元边与预定理想直线的交点,然后把把这些交点与这个单元在预定理想直线之外的旧节点相连组成新的单元,再计算新单元的体积。这些新单元的体积再加上全部节点都位于预定理想直线之外的那些单元的体积,就组成了前面所定义的目标函数 Ψ 。

设组成的新单元和全部节点都位于理想边界直线之外的单元的总数为 M ,其中第 n 个单元的体积为 V_n ,则目标函数 Ψ 可表示如下:

$$\Psi = \sum_{n=1}^M V_n \quad (1)$$

对于任意四边形单元 n ,设单元节点的坐标为 $(x_i, y_i)_{i=1, \dots, 4}$,其体积可计算如下:

$$V_n = \frac{1}{2} C_1 (x_{32} y_{12} - x_{12} y_{32}) + \frac{1}{2} C_2 (x_{14} y_{34} - x_{34} y_{14}) \quad (2)$$

式中 x, y ——单元节点坐标

$$x_y = x_i - x_j \quad y_y = y_i - y_j$$

C_1, C_2 ——系数,对于轴对称问题, $C_1 = \frac{2}{3}$

$$\pi (x_1 + x_2 + x_3), C_2 = \frac{2}{3} \pi (x_1 + x_3 + x_4),$$

对于平面变形问题, $C_1 = C_2 = 1$

利用式(1)和式(2)就可以计算出本文所采用的目标函数 Ψ 。当 Ψ 越小,实际获得的最终成形件超出预定理想直线之间部分的体积就越小,终锻模具的充填状况也就越好。因此,优化问题为通过使目标函数取得最小值的圆柱体高径比定义最佳的坯料尺寸。对于这种单变量的无约束优化设计问题,本文采用黄金分割法进行优化。

三、优化实例

采用上述方法,对一轴对称H形锻件的毛坯形状进行了优化设计。设整个过程等温,材料为20钢,摩擦因子 $m=0.2$,上模速度为 -1.0mm/s 。由于锻件上下对称,故只取坯料的1/4进行优化。优化开始时优化设计变量即圆柱体坯料的高径比取为0.5,具体坯料尺寸为 $\Phi 122.43561\text{mm} \times 61.2178\text{mm}$ 。图2显示了目标函数随优化迭代次数的变化情况。由图2可以看出,经过14次优化迭

代, 目标函数由 2200mm^3 左右下降到最后的 300mm^3 左右, 下降了大约 80% 左右, 优化效果明显。图 3 显示了优化设计变量随优化迭代次数的变化情况。由图 3 可以看出, 优化设计变量 (即坯料的高径比) 从初始值 0.5 开始升高, 当到达最高点 1.0 左右后开始下降, 然后在 0.75 左右振荡, 最后收敛在 0.75 左右。优化趋势比较明显。

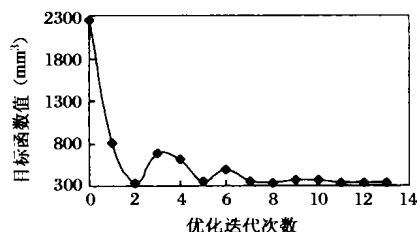


图2 目标函数随优化迭代次数的变化曲线

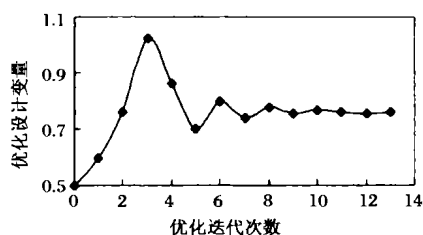


图3 优化设计变量随优化迭代次数的变化曲线

图 4 给出了优化过程中终锻件的变化情况, 图 5 给出了不同优化迭代下的终锻件形状的比较。由图 4 和图 5 可以看出, 第一次优化时得到的终锻件飞边较大, 同时终锻模型腔有很明显的充不满现象发生, 而优化最后得到的终锻件不仅飞边减小了, 而且终锻模型腔完全充满, 取得了明显的优化效果。

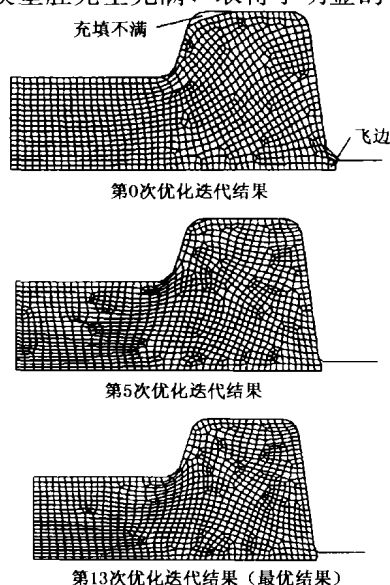


图4 终锻件形状随优化迭代次数的变化情况

达到了优化的目的。

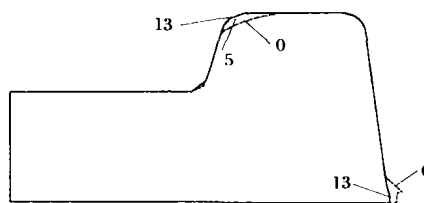


图5 不同优化迭代下的终锻件形状比较
0, 5, 13—优化迭代次数

四、结论

对于单工序锻件, 毛坯高径比是影响终锻件质量的重要因素。高径比选择不当, 会使终锻件产生充不满、飞边过大以及折叠等缺陷, 造成产品质量降低, 成本增高。针对这一问题, 本文采用黄金分割法, 以毛坯高径比为优化设计变量, 以实际锻件超出预定理想直线部分的体积为目标函数, 对二维锻造的毛坯形状优化设计进行了研究, 并以一典型的轴对称 H 型锻件为例, 对其毛坯形状进行了优化设计, 优化得到的终锻件完全充满且飞边很小, 取得了明显的效果。

参考文献

- 1 S Badrinarayanan and N Zabaras. A Sensitivity Analysis for the Optimal Design of Metal Forming Process. J. Mater. Proc. Technol., 1994 (129): 83~104
- 2 S Badrinarayanan and N Zabaras. Preform Design in Metal Forming. Processings. NUMIFORM95, S-F. Shen and P. Dawson. ed., Ithaca, NY, 1995: 533~538
- 3 L Fourment and J L Chenot. Optimal Design for Non-steady-state Metal Forming Processes— I. Shape Optimal Design Method. Int. J. Numer. Methods Engng., 1996 (39): 33~50
- 4 L Fourment and J L Chenot. Optimal Design for Non-steady-state Metal Forming Processes— II. Application of Shape Optimization in Forging. Int. J. Numer. Methods Engng., 1996 (39): 51~65
- 5 Guoqun Zhao, Ed Wright and Ramana V Grandhi. Preform Sensitivity Analysis Based Preform Die Shape Design for Net-Shape Forging. Int. Mach. Tools Manufact., 1997, 37 (9): 1251~1271
- 6 赵国群, 王广春等. 材料塑性成形过程最优化设计— I 有限元灵敏度分析方法. 塑性工程学报, 1999, 6 (2): 1~7
- 7 赵国群, 王广春等. 材料塑性成形过程最优化设计— II 灵敏度分析方法在模具设计中的应用. 塑性工程学报, 1999, 6 (3): 1~6
- 8 杨冰. 实用最优化方法及计算机程序. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1994.
- 9 解可新, 韩立兴, 林友联. 最优化方法. 天津: 天津大学出版社, 1997.