

基于三维实体造型的 锻造工艺设计方法

南京汽车锻造有限公司 (江苏 210033) 唐崇禹 张 进

摘要: 以汽车发动机连杆为例, 介绍了一种基于三维实体造型的锻造工艺设计方法。采用三维实体造型软件 Pro/Engineer, 实现模锻件的计算机辅助锻造工艺分析, 可减少传统设计方法中繁重的手工计算和低效劳动, 提高了设计的效率和准确性。

1. 概述

现代工业的发展和市场竞争对锻造工业提出了许多新的要求, 其中锻造技术人员如何快速、准确地进行锻造工艺的设计显得尤其重要。

锻件重量分析、模锻变形工步的设计、毛坯尺寸的计算和锻造设备吨位的选择是锻造工艺设计的重要内容。锻件重量分析是确定锻造工艺、锻件公差与余量、锻件成本与价格的基础。锻件水平投影面积分析是确定锻造设备吨位的依据。锻件的截面分析和计算毛坯图绘制是确定模锻件, 特别是复杂杆类件制坯工步、制坯模膛形状和选取材料规格的依据。传统的手工计算、绘图和分析的方法已经远远不能满足客户的需求。

近年来, 计算机技术、CAD 技术的发展为锻造工艺的快速设计提供了有利条件。基于微机平台的三维 CAD 软件, 如 PTC 公司的 Pro/E、EDS 公司的 UG II、Autodesk 公司的 MDT、Dassault - Solidworks 公司的 SolidWorks 等已经十分成熟。从传统的二维设计和分析升级为三维设计和分析可以大大提高设计速度和准确性。

汽车发动机连杆是较复杂的模锻件之一, 本文以连杆为例, 选用 Pro/E 软件作为平台, 阐述计算机辅助锻造工艺分析的方法。

2. 传统的锻造工艺分析方法

连杆的锻件简图如图 1 所示。传统的基于 2D 图形的锻造工艺分析步骤为:

(1) 手工计算锻件重量 一般是将锻件划分为若干简单的实体 (如长方体、圆柱体、圆锥体、圆台等), 分别计算近似体积后相加, 再乘以材质密度即为锻件重量。对于复杂的长杆件, 采用“计算毛坯截面图曲线下面积”的方法来求近似体积, 再

乘以材质密度即为锻件重量。

(2) 手工计算水平投影面积 一般是将锻件的水平投影划分为若干简单的形状 (如方形、圆形、三角形、梯形等), 分别计算近似面积再相加, 或者将水平投影绘制在坐标纸上, 用数方格子的方法确定面积, 或者采用求积仪来求近似面积。

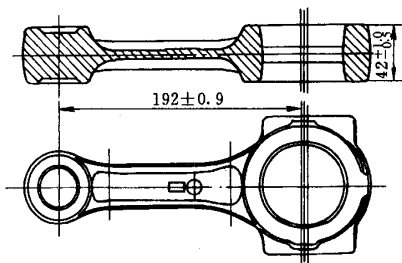


图 1 连杆锻件简图

(3) 手工绘制锻件毛坯图的计算 一般是将锻件等距离或不等距离地划分为若干个剖面 (见图 2b), 对简单的截面直接计算其截面积, 对较复杂的截面则需逐个绘出剖面图 (见图 2a), 再将剖面

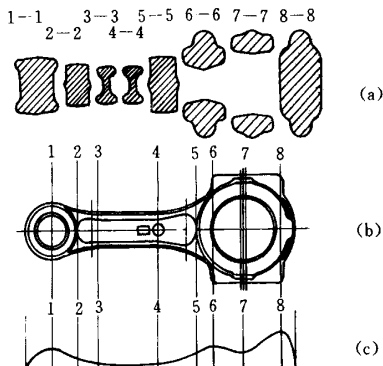


图 2 统计计算毛坯图绘制方法

划分为若干简单的形状(如长方形、圆形、三角形、梯形等),分别计算近似面积后相加即得截面积,也可以采用求积仪或坐标纸法来求近似面积,即将各截面的面积绘制成计算毛坯截面图(见图2c),再绘制计算毛坯直径图。用于计算锻件重量的毛坯截面图不考虑飞边和连皮,用于计算下料毛坯规格和制坯形状的毛坯截面图则应加上飞边和连皮。

3. 锻件的三维实体造型

对连杆锻件,采用 Pro/E 软件进行三维实体造型(见图3)。

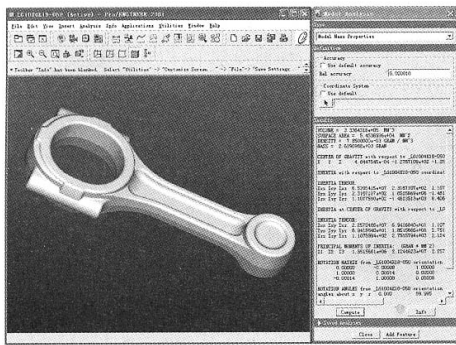


图3 连杆锻件的三维实体造型及锻件重量分析

4. 锻件重量分析

采用 Pro/E 软件对锻件进行重量分析(见图3),分析结果为:

$$\text{体积 } V = 3.3364316 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\text{表面积 } S = 5.4536936 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\text{密度 } \rho = 7.8500000 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$$

$$\text{重量(质量)} m = 2.6190988 \times 10^3 \text{ g} = 2.619 \text{ kg}$$

上述结果是未考虑锻件公差及模具磨损情况下的名义重量。考虑锻件公差及模具磨损后的锻件重量,本公司确定为 2.70kg,这是采用实际测量多个锻件的重量取平均值,再考虑一个扩大系数来确定的。

5. 锻件(含飞边)重量分析

采用 Pro/E 软件对锻件(含飞边)进行重量分析(见图4),分析结果为:

$$\text{体积 } V = 4.8446000 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\text{表面积 } S = 1.1596973 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\text{密度 } \rho = 7.8500000 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$$

$$\text{重量(质量)} m = 3.8030110 \times 10^3 \text{ g} = 3.803 \text{ kg}$$

上述结果是未考虑锻件公差及模具磨损情况下的名义重量。考虑锻件公差、模具磨损及火耗后,本公司确定的下料毛坯重量为 3.884kg。



图4 连杆锻件(含飞边)的三维实体造型及重量分析

6. 锻件水平投影面积分析

采用 Pro/E 软件对锻件(含飞边桥部和连皮)进行水平投影面积分析(见图5),分析结果为:投影面积 = 23606.1mm²。

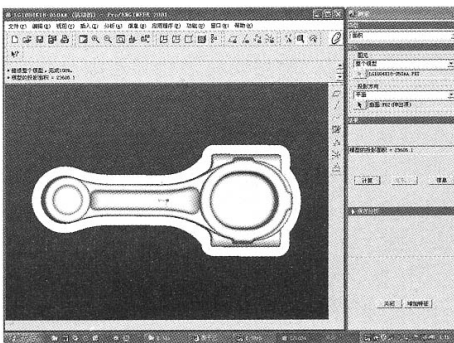


图5 连杆锻件水平投影面积分析

7. 设备吨位计算

确定热模锻压力机吨位的公式为:

$$F = (64 \sim 73) K$$

$$A = (64 \sim 73) \times 1.1 \times 236.061 \\ = 16618.7 \sim 18955.7 \text{ kN}$$

式中 K ——材质系数

S ——锻件和飞边桥部在水平面上的投影面积, cm²

F ——热模锻压力机模锻所需压力, kN

因此选用 2500t 热模锻压力机。

8. 截面分析

利用 Pro/E 软件进行锻件（包括飞边和连皮）的截面分析，分析界面中的截面积数据可通过“Saved Analyses”导入到 Microsoft Excel 软件中，绘制出计算毛坯截面图和直径图。图 6 是以连杆小头中心线为起点向左、右侧方向分割，分割间距为 25mm 时的截面情况。下表是以锻件小头末端（坐标原点）为起点向右侧方向分割，分割间距为 5mm 时的截面面积和换算直径，共有截面 72 个。图 7 是锻件计算毛坯截面图；图 8 是锻件计算毛坯直径图；图 9 是根据计算毛坯图设计的辗锻制坯工步图。

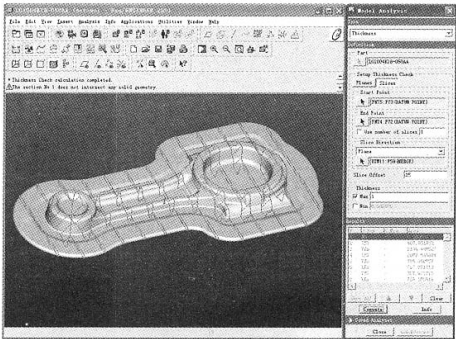


图 6 连杆锻件（包括飞边和连皮）的截面分析

连杆锻件（包括飞边）截面分析表

序号	截面积/mm ²	直径/mm	序号	截面积/mm ²	直径/mm	序号	截面积/mm ²	直径/mm
1	0. 0000	0	25	757. 9212	31. 0647	49	2264. 7557	53. 69894
2	105. 5948	11. 59515	26	757. 9212	31. 0647	50	2113. 4171	51. 87375
3	286. 3875	19. 09555	27	757. 9212	31. 0647	51	2023. 2150	50. 75468
4	381. 6580	22. 04409	28	757. 9212	31. 0647	52	2111. 1048	51. 84537
5	450. 7529	23. 95655	29	757. 9212	31. 0647	53	2101. 4698	51. 72692
6	493. 9787	25. 07894	30	757. 9212	31. 0647	54	2101. 4698	51. 72692
7	462. 2980	24. 26141	31	757. 9212	31. 0647	55	2101. 4698	51. 72692
8	457. 7894	24. 14282	32	757. 9212	31. 0647	56	2067. 1955	51. 30336
9	934. 2846	34. 49012	33	757. 9212	31. 0647	57	2075. 7891	51. 40989
10	1732. 9818	46. 97341	34	757. 9212	31. 0647	58	2192. 2558	52. 83244
11	2035. 3017	50. 90606	35	757. 9212	31. 0647	59	2373. 5508	54. 97362
12	2134. 2958	52. 12936	36	757. 9212	31. 0647	60	2671. 4210	58. 32117
13	2210. 1101	53. 04714	37	759. 2197	31. 09129	61	3333. 7595	65. 15117
14	2235. 7165	53. 35356	38	769. 0552	31. 29204	62	3594. 6874	67. 65278
15	2235. 7165	53. 35356	39	788. 9385	31. 69397	63	2523. 4671	56. 68314
16	2210. 1101	53. 04714	40	821. 6567	32. 34449	64	1906. 4843	49. 26877
17	2134. 4418	52. 13114	41	910. 0722	34. 04027	65	694. 0399	29. 72674
18	2081. 9338	51. 48593	42	1053. 8034	36. 62983	66	731. 4527	30. 51745
19	1910. 6280	49. 32228	43	1315. 4724	40. 92568	67	754. 2568	30. 98951
20	1416. 5274	42. 46856	44	1800. 1879	47. 87557	68	758. 1445	31. 06927
21	980. 6287	35. 33519	45	2545. 5233	56. 93032	69	632. 3096	28. 37396
22	808. 9517	32. 09345	46	2937. 6773	61. 15854	70	399. 3978	22. 55059
23	762. 5124	31. 15864	47	2678. 5881	58. 39935	71	267. 3685	18. 45059
24	758. 2870	31. 07219	48	2523. 5054	56. 68357	72	0. 0000	0

等温锻造近净成形

甘肃交通职业技术学院汽车系 (甘肃兰州 730070) 宋庆阳
 兰石集团锻造热处理厂 (甘肃兰州 730050) 胥永顺

杯形件是某控制仪器的重要零件,工作时承受很高的气体压力及脉冲热疲劳,加工精度高,公差带小,除A端面(见图1)允许倒角 $1 \times 45^\circ$ 外,其余部位均不得切削加工。因此,需经精密锻造成形,以求良好的纤维组织来满足力学性能和抗蚀抗疲劳的性能要求。热锻温差大,组织不稳定,力学性能难以保证,且要预留一定的出模斜度和切削飞边等;冷锻时,材料延展性差,上端面难以准确充满,且易产生宏观开裂或显微裂纹,拐角处易产生折叠。经反复研究后,决定采用等温锻造。最终试验出了等温温度、变形速度及保压时间等对型腔充满度及零件精度和组织性能产生影响的参数,同时设计出了近净成形、分模退料的复合闭式等温锻造模,现已在生产中获得成功应用。

一、试验材料的化学成分及室温力学性能

1. 试验材料的化学成分 (见表1)

表1 试验材料的化学成分 (质量分数) (%)

合金元素	Cu	Mg	Mn	Zn	Cr	Al	杂质
含量	1.40 ~ 2.00	1.80 ~ 2.80	0.20 ~ 0.60	5.00 ~ 7.00	0.10 ~ 0.25	余量	≤ 1.10

2. 试验材料的室温力学性能 (见表2)

表2 试验材料的室温力学性能

力学性能指标	δ_5 /MPa	σ_b /MPa	ψ (%)	δ (%)	Akv/J	HB
室温力学性能	≥ 238	≥ 370	≥ 25	≥ 12	≥ 20	≥ 100

二、零件的特点

1. 零件的结构特点 (见图1)

该杯形件的基盘直径(d_1)大,壁较薄且内壁成 5° 锥角,外壁为直角;下凸台($d_4 \sim d_5$)相对体积大而过渡圆角小($R3\text{mm}$),表面粗糙度值 $R_a < 1.6\mu\text{m}$ 。

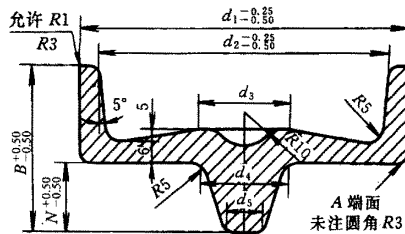


图1 杯形件成品几何尺寸示意图

2. 零件成形难点

(1)基盘等薄壁、圆角小,不仅金属流动困难,

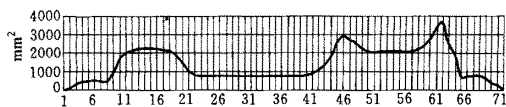


图7 锻件计算毛坯截面图

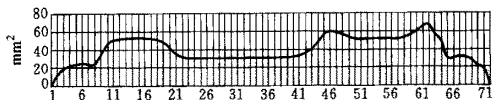


图8 锻件计算毛坯直径图

9. 结语

利用先进的三维实体造型软件进行锻造工艺辅助设计与分析,是一种先进的设计方法。经过我公司的使用验证,能够有效地提高设计速度和准

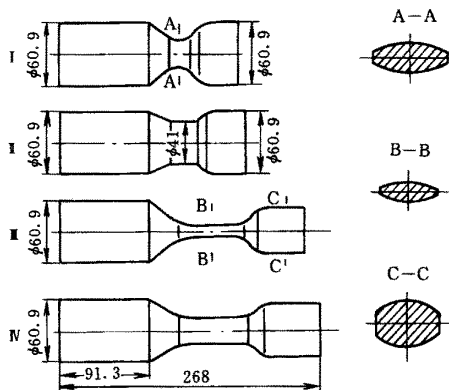


图9 连杆锻件辊锻制坯工步图

确性。 (20040924)