

# 基于环件热辗扩成形的 铸态 42CrMo 钢高温热导率测算

杨 卿, 付建华, 李永堂, 齐会萍, 刘育华  
(太原科技大学 材料学院, 山西 太原 030024)

**摘要:** 针对环件热辗扩成形中所用铸态 42CrMo 钢, 利用 JMatPro 软件模拟出该材料在高温下 (500~1200℃) 热导率随温度变化曲线, 并通过激光热导仪实际测量铸态 42CrMo 钢在相同温度范围 8 个测温点 (每 100℃ 设置一个测温点) 的热导率数据, 利用 Origin 软件拟合出相应曲线, 通过两者曲线对比, 得到最贴近真实的铸态 42CrMo 钢高温热导率曲线, 为后续辗扩工艺的数值模拟提供可靠的工艺参数和材料模型。

**关键词:** 辗扩成形; 42CrMo 钢; 热导率; JMatPro; 激光热导仪

**中图分类号:** TG333.91 **文献标识码:** A

## 0 引言

环件热辗扩是在高温下进行的连续局部塑性回转变形工艺 (图 1), 可实现少、无切削加工, 保留了金属内部的流线组织, 提高了环件的机械性能<sup>[1]</sup>。然而, 通过铸造图 1 环件热辗扩成形工艺得到的合金钢存在较为严重的成分偏析和夹杂物分布不均, 这

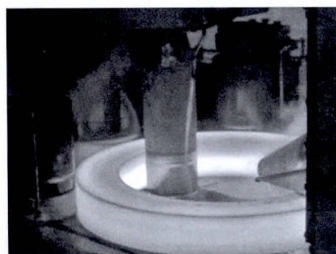


图 1 环件热辗扩成形

对产品的最终机械性能有很大的影响<sup>[2]</sup>。因而, 深入研究辗扩过程中材料微观组织的热物理性能特别是高温下材料的热导率, 对于指导实际生产具有十分重要的意义,

同时也为后续利用 DEFORM 有限元分析软件进行辗扩工艺数值模拟提供了直接可靠的材料模型。

本文所研究的 42CrMo 钢是一种常见的中碳合金钢, 具有淬透性高、强度大、韧性好、淬火时变形量较小、高温下有较高的蠕变强度和持久强度等优点。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (51075290); 高等学校博士学科点专项科研基金 (20111415130001); 山西省回国留学人员科研资助项目 (2011-084); 太原科技大学博士科研启动项目 (20122053)

**收稿日期:** 2013-03-06

**作者简介:** 杨 卿 (1987-) 男, 硕士在读, 主攻铸辗复合成形工艺研究

## FEM simulation on hot ring rolling process of annular casting blank with outer stepped cross section

LIU Yuhua, LI Yongtang, QI Huiping, YANG Qing

(School of Materials, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, Shanxi China)

**Abstract:** Based on the DEFORM software, the finite element model of hot rolling ring with stepped cross section has been established in the text. The hot ring rolling process of the 42CrMo annular casting blank has been simulated and analyzed. The results show that: under the selected hot rolling parameters, the ring is smooth and regular without pits on surface; the flow velocity of inner and outer metal which contacts with forming roller is larger than that of the core part; the equivalent strain of the inner and outer metal is larger than that of the core part; in the hot ring rolling process, the temperature drops of the core part metal is gentle than that of the inner and outer part, the trend of temperature drops of the inner and outer part metal is zigzagging. It has important significance for design of hot ring rolling for annular casting blank with stepped cross section, as well as forecasting and controlling the quality of ring.

**Keywords:** Annular casting blank; Outer stepped cross section; Hot ring rolling; Numerical simulation

故 42CrMo 钢常被广泛应用于机车牵引用的大齿轮、增压器传动齿轮、后轴、承受极大载荷的连杆、弹簧夹、石油深井钻杆接头与打捞工具等,现在也逐渐应用于大型轴承环件中<sup>[3]</sup>。

本次研究从铸态 42CrMo 钢的微观组织入手,分别利用 JMatPro 软件和激光热导仪对其高温下(500~1200℃)的热导率进行模拟和测算,得到相应的热物理性能参数随温度变化的曲线,最后将两者数据进行对比验证,得到最贴近真实的铸态 42CrMo 高温热导率曲线,为后续辗环工艺的数值模拟提供可靠的工艺参数和材料模型。

## 1 利用 JMatPro 软件进行数值模拟

JMatPro 是英国 Sente Software 公司开发的一款功能强大的材料性能模拟软件,可以用来计算金属材料的多种性能。它是一个基于材料类型的软件,不同的材料类型有不同的模块。JMatPro 特别针对工业用合金如镍基超合金、钢铁(如不锈钢、高强低合金钢、铸铁)、铝合金、镁合金和钛合金等,能够较好地模拟上述材料的各项性能。

### 1.1 初始参数设置

选取试样后,通过金相组织实验,利用金相显微镜拍照并测算得到铸态 42CrMo 平均晶粒尺寸大约为 80 $\mu$ m 左右。如图 2 所示。



图2 铸态 42CrMo 晶粒组织

通过测定铸造所得 42CrMo 试样,其化学成分(质量百分数)如表 1 所示。

表 1 铸态 42CrMo 元素成分

元素	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Mo	P
含量	0.46	0.28	0.72	0.007	1.13	-	0.22	0.012

### 1.2 模拟

在 JMatPro 主界面的上方选择“Materials Types”菜单中的“General Steel”模块,将以上铸态 42CrMo 元素成分输入 JMatPro 软件,并设置初始晶粒大小为 80 $\mu$ m,选择“Thermo-Physical and Physical properties”选项开始模拟,得到铸态 42CrMo 热导率随温度变化曲线(图 3)。

## 2 实验测算

本次研究主要利用北京航空航天大学热导实验室所属由德国耐驰公司生产的 LFA-427 型激光热导仪(图 4)对铸态 42CrMo 的高温热导率进行测算。

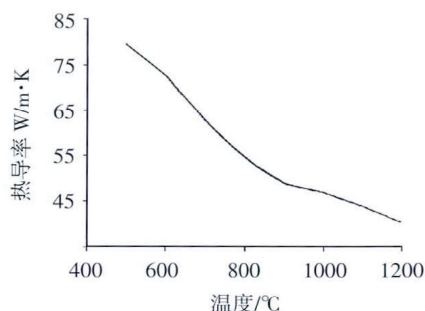


图3 模拟得铸态 42CrMo 热导率随温度变化曲线

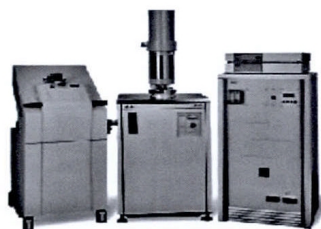


图4 LFA-427 激光热导仪

如图 5 所示,LFA-427 型激光热导仪的组成主要包括激光器系统、样品支架系统、炉体系统、光路调整系统、脉冲检测系统以及红外检测系统等。激光源的最大能量为 20J,脉冲宽度

最大至 1.2ms,脉冲能量和宽度均可由软件控制。样品架配备独特的 STC 控温模式,可保证样品恒温温度的准确测量,对于比热测量有极大帮助。炉体均采用真空密闭结构,真空度可达  $10^{-5}$ mbar,对于高纯度保护气氛或者高真空环境下的测量非常有利。红外检测系统包括红外测温器、相关光路系统和光圈等。该系统的作用是获得样品表面温度变化信号<sup>[4]</sup>。

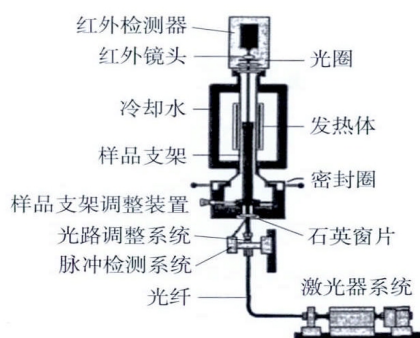


图5 激光热导仪结构组成

本次实验采用的铸态 42CrMo 试样为 $\phi 12.7$ mm $\times 2$ mm 的圆柱体薄片,将其置于样品支架中并固定好,并设置 8 个测温点(500℃到 1200℃每 100℃一个测温点),得到铸态 42CrMo 相应温度下的热导率数据,如表 2 所示。

将以上数据输入 Origin 软件,拟合出相应的热导率随温度变化曲线,如图 6 所示。

## 3 对比验证

将以上分别通过模拟和实验得到的热导率随温度变化曲线置于同一坐标体系下观察规律,如图 7

表 2 实验测得铸态 42CrMo 热导率数据

样品编号	实验温度/℃	热导率/(W/(m·K))
铸态 42CrMo	501.4	82.74
	602	74.45
	702.1	67.95
	801.4	59.26
	901.3	58.23
	1001	57.03
	1100.9	55.28
	1201.3	53.76

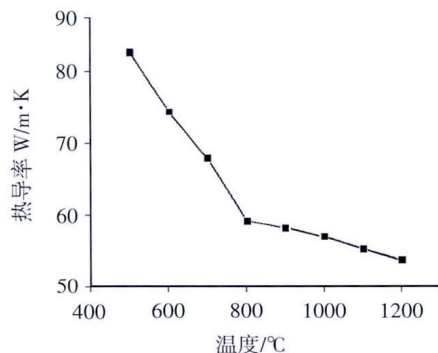


图 6 实验得铸态 42CrMo 热导率随温度变化曲线

所示,可以看出两条曲线吻合良好,整体趋势大致相同,铸态 42CrMo 在高温下的热导率总体呈单调递减趋势,在 500~800℃区间随温度升高急剧下降,当温度超过 800℃后,热导率随温度升高而缓慢下降,在接近熔点时趋近于最低值。

#### 4 结论

(1)首次测得用于铸辗复合成形工艺的铸态 42CrMo 钢的高温热导率数据,为后续辗环工艺的数值模拟提供了真实可靠的材料模型,对实际生产也

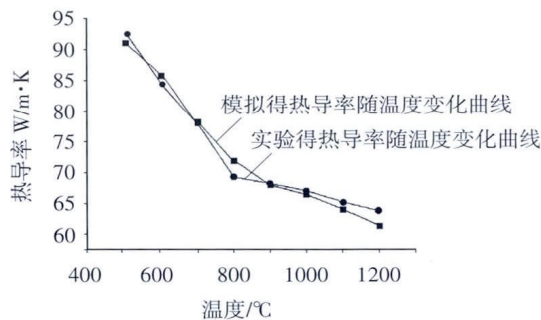


图 7 模拟和实验所得铸态 42CrMo 热导率随温度变化曲线有着重要的指导意义。

(2)利用数值模拟和热物理性能实验两种不同方法得到了铸态 42CrMo 高温下的热导率随温度的变化曲线,通过对比验证可知模拟所得数据真实可靠。

#### 【参考文献】

- [1] 华林,黄兴高,朱春东.环件轧制理论和技术[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 蔺永诚,陈明松,钟掘.42CrMo 钢形变奥氏体静态再结晶[J].中南大学学报(自然科学版),2009,40(2):411-416.
- [3] 张怀宇,惠卫军,董瀚,等.简化 42CrMo 钢球化退火工艺的研究[J].钢铁研究学报,2007,3(28):63-65.
- [4] 王东,孙晓红,赵维平,等.激光闪射法测试耐火材料导热系数的原理与方法[J].计量与测试技术,2009,36(3):38-39.
- [5] 付甲,李永堂,齐会萍.压下量对铸态 42CrMo 钢动态再结晶的影响[J].锻压装备与制造技术,2011,46(2):107-109.
- [6] Thermophysical properties of rare-earth stannates: Effect of pyrochlore structure[J].Acta Materialia,60(2012):2939-2949.
- [7] 苏铁健,王富耻,李树奎,等.合金钢的热导率计算[J].北京理工大学学报,2005,25(1):91-94.
- [8] 詹勇,吴秀峰,翟鹏,等.辗环机工作原理及性能分析[J].锻压装备与制造技术,2012,47(3):18-20.

## The measure and calculation on thermal conductivity at high temperature of casting 42CrMo steel based on hot ring rolling process

YANG Qing, FU Jianhua, LI Yongtang, QI Huiping, LIU Yuhua

(School of Materials, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, Shanxi China)

**Abstract:** Aiming at the casting 42CrMo steel used in hot ring rolling process, the thermal conductivity curve which changes with temperature at high temperature (500~1200℃) has been simulated by use of JMatPro software. The thermal conductivity data at 8 points (every 100℃ for one point) at the same temperature range has been measured by use of laser thermal conductivity meter (LFA427). The fitting curve has been drawn through Origin software. By comparing the two curves above, the thermal conductivity curve of casting 42CrMo steel which is closest to the real has been obtained. It provides reliable technological parameter and material model for the following numerical simulation of ring rolling process.

**Keywords:** Casting 42CrMo; Thermal conductivity; JMatPro; Laser thermal conductivity meter