

上海大学出版社

2006年上海大学博士学位论文 80



进气歧管铸造过程模拟及 工艺优化的研究

- 作者：王晓秋
- 专业：钢铁冶金
- 导师：丁伟中



上海大学出版社
2006年上海大学博士学



进气歧管铸造过程模拟及 工艺优化的研究

- 作者：王晓秋
- 专业：钢铁冶金
- 导师：丁伟中



图书在版编目(CIP)数据

2006 年上海大学博士学位论文. 第 2 辑/博士学位论文编辑部编. —上海:上海大学出版社,2010.6

ISBN 978 - 7 - 81118 - 513 - 3

I. 2... II. 博... III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2006 IV. G643.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162510 号

2006 年上海大学博士学位论文

——第 2 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人:姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 278 字数 7 760 千

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—400

ISBN 978 - 7 - 81118 - 513 - 3/G · 514 定价:880.00 元(44 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2006)

The Simulation of Casting Process for Intake Manifold and Technical Optimization Research

Candidate: Wang Xiao-qiu

Major: Ferro-Metallurgy

Supervisor: Ding Wei-zhong

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任:	毛协民	教授,上海大学	200072
委员:	鲁雄刚	教授,上海大学	200072
	李 劲	教授,复旦大学	200433
	张静江	教授级高工,国家机动车检测中心	201805
	阳树毅	教授级高工,上海内燃机研究所	200432
导师:	丁伟中	教授,上海大学	200072

评阅人名单:

吴健生	教授,上海交通大学	200030
毛协民	教授,上海大学	200072
叶以富	教授,华东理工大学	200237

评议人名单:

张振华	教授级高工,泛亚汽车技术中心	201206
张静江	教授级高工,国家机动车检测中心	201805
任忠鸣	教授,上海大学	200072
蒋国昌	教授,上海大学	200072

答辩委员会对论文的评语

王晓秋同学的博士论文针对企业发动机进气歧管开发过程中产品废品率的问题,研究了产品缺陷产生的原因,提出了改进浇铸工艺和强化铸件性能的措施。论文选题注重理论与生产实践的结合,对于解决复杂结构模型的浇注问题有指导意义和实用价值。

论文采用 CAD/CAE 分析方法对进气歧管铸造充型过程进行了计算机模拟,获得了浇注过程中流体速度的分布、可能出现湍流的区域、铸件的温度分布、热节可能出现的位置以及孤立液相区的产生等大量信息。根据这些信息,论文分析了浇注过程中出现缺陷的可能性和区域,优化了排气措施和模具设计,从理论和实践上找到最佳工艺条件,使铸件的毛坯合格率从 20% 左右稳定提升到 93%。论文还对铸件合金的性能提高进行了稀土合金的变质处理实验研究,结果表明,使用富镧系合金处理的铝合金,机械性能得以提高,气孔率明显降低。论文研究结果对汽车行业复杂铝合金浇注工艺的优化具有很好的参考价值。

博士论文撰写规范,文字流畅,图表清晰。计算和现场试验工作量大,数据可信,研究方法合理,说明作者掌握了扎实的基础理论和专业知识,具有较强的分析和解决问题的能力。答辩过程表述清楚,回答问题正确。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过王晓秋同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会主任:毛协民

2006年4月27日

摘 要

发动机轻量化的重要措施即大量铝合金材料的应用。国内某款乘用车 V 型 6 缸发动机进气歧管(319.0)开发过程中,屡屡出现缩孔、气(针)孔等铸造缺陷,严重地影响了供应商的正常供货以及整车厂产能的提升。由于该款发动机进气歧管结构复杂,零部件生产厂在产品开发过程中没有充分考虑模具设计、流体流动、凝固现象等的合理性,从而导致产品毛坯合格率一直很低,仅维持在 20%左右的低水平。

通过对该款产品试生产阶段进行的缺陷统计与分析,可知缩孔和气(针)孔是缺陷产生的主要原因,其他缺陷的存在与之也有密切关系。缩孔和气(针)孔的产生与原料、模具设计、浇注工艺等有着重要的关系,在持续改进这些工艺参数的基础上,可以不断降低缺陷。而要合理改进工艺,必须借助现代先进的设计和制造理念,对现有过程中铝液流动状态、温度分布状态和模具设计之间的关系进行分析,才能做到有的放矢,这在现代铸造工业中显得十分必要。

本研究通过对产品及其模具进行三维造型,结合其铸造工艺,对铸造过程进行了 CAE 计算机辅助处理和分析,模拟了充型过程流场和温度场分布情况。对铸造过程充型模拟的计算结果可知,在气道附近区域,流体流动的速度梯度很大,容易出现卷气、冲刷砂芯等现象,因此,在这些区域出现气孔、针孔和缩孔、砂孔等缺陷的可能性很大,为此,必须保证铸件凝固补缩良好、排气通畅。从铸件充型和冷却过程的温度分布情况看,

在铸件气道口附近的厚大区域,温度梯度分布不合理,出现孤立液相区的可能性很大,必须使冒口区域有充足的液相,才能防止出现缩孔、浇不足等缺陷。

根据计算结果所确定的缩孔、疏松和气孔等缺陷可能存在的位置,及其产生的原因,从工艺角度提出了相应的改善方案。着重从排气措施和模具设计两个方面进行优化改进,通过局部区域强化排气和适当加大冒口等措施,显著改善了缺陷的发生率。通过系列工艺改进,铸件的毛坯合格率在较短的时间内上升到稳定的 93% 左右,解决了缩孔、针(气)孔、疏松等缺陷。从而从理论和实践两方面找到了提升该类产品质量的最佳工艺,实现了该产品的完全国产化。

除了铸造缺陷外,产品开发初期的硬度等力学性能也差强人意,达不到设计要求的水平。为此,课题对所用合金进行了成分微调,对合金中的 Si 含量略微上调,同时改善了精炼措施,利用 Ti-B 变质,结合惰性气体搅拌,从而起到了细化晶粒的目的,使产品的机械性能得到了提高。

稀土金属元素可以改善合金的机械性能、物理性能、加工性能与综合使用性能。本研究还利用富钕混合稀土合金对铸造铝合金进行了实验研究,以探索稀土对铝合金综合性能的影响。通过分析其拉伸断口形态、金相组织形貌和综合氢含量等,表明稀土处理有利于提高合金的塑性和强度,具有很好的变质和固氢作用。对稀土处理前后合金中氢总含量的分析,说明稀土未能将合金中的氢清除,而是改变了氢的存在形式。稀土的加入避免了合金发生氢脆的诱发因素,这与稀土元素对铝液的良好变质作用是分不开的。

应用“惰性气体除气+稀土变质”的铝液处理方式,可以进一步在进气歧管类复杂铸件铸造过程中的应用加以实验研究。

Abstract

Aluminum is the exact material for lightening engines. During the developing process of one V-6 type engine intake manifold with 319.0 alloy, many defects as shrinkage and pin hole occurred frequently, which hindered its normal supply and thus affected the OEMs productivity. Without adequate consideration about the die design, fluid flows and solidification process for its complex structure, the rough pass percentage was very low with only about 20%.

By the statistical analysis for the quality at the beginning, it was found the shrinkage and pinhole to be the principal defects, which had also deep relationship with other stumps. Shrinkage and pinhole were due to the raw material, die designing, casting technology etc. Those defects could be decreased by permanent improvement for process. By the modern design and manufacturing methods, the fluid flow, temperature distribution and the mould character could be analyzed, thus could do much help for good quality.

The filling process was simulated in this paper through 3-D modeling to product and its die, all the flow and thermal results were reached by the computer aided engineering technique. It was found the flow velocity gradients around the gas-tunnel was high enough to cause air mixture and sand-core washing-out, the casting should be with good sinkhead and gas-venting ability. Also the thermal gradients was out of condition

around the area mentioned above, thus adequate liquids was needed to prevent the shrinkage and pouring-shortage issues.

By the calculating, formal plan to lessen such defects as shrinkage and pinhole was brought forward. One was to reinforce the local venting inside mould, another was to magnify the sinkhead. Through these serial trials, the pass percentage arose to a stable 93% level with most of the shrinkage and pinhole slashed down. The intake manifold could be produced fully by domestic now.

Besides the casting shortcomings, the surface hardness couldn't reach the design specification yet. Thus slight change of the composition was made in our research, with Si increased a little. Meanwhile, the refining process was strengthened by Ti-B solute combined with inert gases churning up. Hence the overall mechanical properties were improved.

RE(Rare Earth) elements could also do good to the alloy's mechanical, physical, machinability and usability. We used the La-riched RE to alloy the aluminum melt through mass experiments. By the features of fracture part and its metallurgy, the RE showed helpful for the strength, as well as good hydrogen securing ability. By the comparing of total hydrogen in the alloy afore and after treatment, obviously indicated that RE couldn't push the hydrogen out of the melt but change the being style instead. The possibility of hydrogen brittle for alloy was avoided by RE.

The treatment process of "Inert Gases Degassing + RE Modification" should be studied experimentally in detail further by complex parts as intake manifold.

目 录

第一章 前 言	1
第二章 铝合金铸件中的主要缺陷和预防	8
2.1 铝铸件中的主要缺陷和预防措施	8
2.1.1 缩孔及疏松	8
2.1.2 气孔及针孔	9
2.1.3 夹杂	11
2.2 铝合金中氢的来源与存在方式	12
2.2.1 铝合金中氢的来源及存在形式	13
2.2.2 铝合金中氢的溶解度	15
2.2.3 铝液吸氢的动力学过程	20
2.3 影响铝合金中氢含量的因素	20
2.3.1 熔炼温度、水汽压力对铝液氢含量的影响	20
2.3.2 合金元素对氢含量的影响	21
2.3.3 铝合金中夹杂对氢含量的影响	27
2.4 熔铝中氢浓度的测量	29
2.4.1 第一气泡法	29
2.4.2 减压凝固试样法	30
2.4.3 原位定量分析法	32
2.4.4 循环气体法(Telegas 法)	32
2.4.5 哈培尔法(Chapel 法)	33
2.4.6 浓差电池法	34

2.5	铝合金中氢的去除	36
2.5.1	气泡法	36
2.5.2	真空法	41
2.5.3	超声波处理	43
2.5.4	稀土处理	43
2.5.5	固体电解质法铝液脱氢	48
2.6	本章小结	51
第三章	铸铝发动机进气歧管质量问题的提出	56
3.1	工艺流程	57
3.1.1	产品状态	57
3.1.2	原料	58
3.1.3	产品性能的技术要求	60
3.1.4	产品工艺流程	60
3.2	存在的问题	62
3.2.1	缺陷形貌	62
3.2.2	缺陷分布统计	63
3.3	进气歧管缺陷原因分析	65
3.3.1	气孔	65
3.3.2	缩孔	67
3.3.3	渣孔、渗漏和其他	68
3.4	结论与分析	69
第四章	进气歧管充型和凝固过程的数值模拟	71
4.1	铸造过程数值模拟的应用	71
4.1.1	铸造过程数值模拟技术简介	71
4.1.2	国内外主要铸造模拟软件	74

4.2	进气歧管铸造充型过程中数学物理方程的描述	79
4.2.1	充型过程流体力学模型	79
4.2.2	基本方程的离散	82
4.2.3	耦合充型过程温度场的模型	87
4.2.4	初始条件和边界条件	89
4.2.5	数值计算稳定性条件	92
4.2.6	对流量修正	93
4.3	进气歧管铸造凝固冷却过程中数学物理方程的描述	93
4.4	进气歧管 3-D 模型的建立	95
4.5	小结	98
第五章	进气歧管铸造模拟计算和结果分析	103
5.1	实体模型的处理	103
5.2	实体模型的网格化	105
5.3	进气歧管铸造工艺参数	106
5.3.1	初始条件	107
5.3.2	物性参数	107
5.4	初始工艺进气歧管铸造过程数值模拟结果	108
5.4.1	计算过程描述	108
5.4.2	充型过程计算结果	112
5.4.3	凝固冷却计算结果	122
5.5	铸造缺陷的预测与分析	134
5.6	工艺改进	140
5.7	小结	143
第六章	铸造工艺改进及稀土综合作用的实验研究	147
6.1	铝料成分调整	147

6.2 精炼措施的加强	149
6.3 进气歧管稀土处理综合实验研究	154
6.3.1 稀土元素在铝合金中的作用	154
6.3.2 稀土对进气歧管用合金的作用	160
6.3.3 稀土对不同类合金的影响	168
6.3.4 试验结果的分析讨论	176
6.4 小结	179
致谢	184

第一章 前 言

随着国内汽车及航空工业的迅速发展,尤其在汽车领域,由于对能源日益缺乏的认识越来越深刻,所以对汽车轻量化的关注越来越多,实现汽车轻量化的一个重要措施是充分利用可替代材料,如以轻金属材料替代部分的钢铁材料,以高强度塑料件替代金属件等。

目前,我国已成为世界第三大铝材消费国,铝材产量也排名世界第四位,但同时我国又是世界最大的铝材进口国^[1]。制约我国铝坯质量提高和产量扩大的一个重要因素是铝熔体的熔炼及精炼技术还不能满足高质量铝坯的生产要求。

铝铸件极易产生针孔、疏松等缺陷,它导致铸件的力学性能、内部质量明显降低。导致铸件产生缺陷的因素很多,诸如氢含量、冷却速度、夹杂物、变质处理等。针(气)孔是导致许多铝铸件发生失效的直接原因之一,发生该种缺陷的主要诱发因素是氢在铝及其合金中的溶解和析出^[1-6]。

熔炼中 Al 液易与气氛及耐火材料中的水分反应吸氢,熔融铝及其合金中的氢在熔体凝固时以分子形式析出,氢在固态金属中的溶解度会降至原先的二十分之一以下^[7]。氢气在凝固的铝材内部形成气孔、白点、疏松等缺陷,使材料性能降低。另外,氢在铝液凝固时的大量析出容易造成材料表面起泡,使合金在铸造和轧制时脆性增大,降低铸锭及制品的强度、塑性、冲击韧性及断裂韧性。高科技产品如磁鼓、光盘中覆盖层所用铝材含氢还会影响产品性能。为此,人们在铝合金的生产过程中采用多种方法对铝液进行精炼,以减小铝液中的氢含量。

此外,铸件在浇注过程中,如果浇注速度、浇注温度、模具设计、模具温度等诸多因素不合适,都会直接导致铸件出现缩孔、疏松、针