铸造CAE技术在铝活塞金属型设计中的应用

俎训龙，张屹林，崔艳兵，王海涛

【摘要】应用德国MAGMAsoft铸造CAE软件对铝合金活塞的金属型铸造过程进行数值模拟，通过凝固时间分析、热节及模数确定、温度场模拟和缩孔缩松判据等对制订工艺起到了辅助设计的作用。

1. 概述

随着计算机技术的发展，铸造过程计算机数值模拟技术（CAE）日臻成熟，为铸造行业提供了一种新的工具和解决问题的途径，这项技术能帮助工程师优化铸造工艺、改进设计方案，从而达到缩短试制周期、提高铸件质量及降低成本的目的。铝活塞毛坯传统上采用金属型重力铸造成形，即将一定温度的铝合金液浇注到一定温度的金属型型腔内，经过一定的时间，铝合金液在金属型中冷却并凝固，从而在金属型腔内形成活塞铸件，包括了许多对铸件品质产生重要影响的物理化学过程和现象。

传统的金属型和铸造工艺设计过程中，因为无法直接观察铝合金液在金属型腔内的充型过程和凝固过程，铸造工程师对铝活塞铸造金属型的设计和制造，主要依靠类似产品的生产经验来设计铝活塞铸造金属型和铸造工艺，因而造成很多产品因结构不同而导致金属型设计不合理，使得铸造废品率居高不下。同时，频繁返修金属型导致铝活塞金属型试制周期延长、交货期不能保证，甚至因事前设计考虑不周，导致整套金属型报废，铸造过程重新设计的现象也层出不穷。因此，迫切需要引入一种可以对铝活塞充型过程和凝固过程等进行数值分析的计算机软件工具来克服此种困难。计算机模拟技术的成功开发，为铸造工程师的设想提供了可能。通过对铝合金液凝固过程中各种数据的计算和模根据模拟结果对铸造工艺进行改进，降低了材料损失，提高了生产效率。

4. 结语

分析了影响铸件合格率的因素，结合数值模拟技术分析了缺陷产生的可能原因，进而对操作和工艺参数进行改进和调整，从而提高产品合格率，提高生产能力，减少材料损失。



图2　铸件的网格划分结果

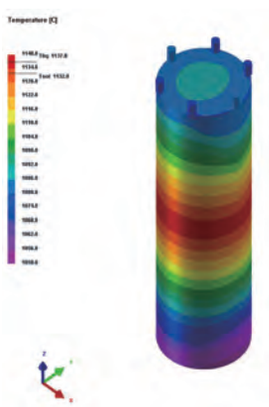


图3　温度场模拟结果

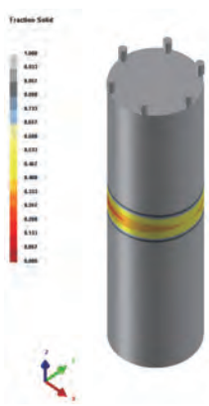


图4　固相分数模拟结果

作者简介：周运洪、赵海斌、宋虎、涂远洋，中国工程物理研究院材料研究所。

MW 20140826

拟，可以提前发现铸件的缺陷部位，并采取相应措施改进铸造金属型的设计和铸造工艺，再利用CAD/CAM技术，提高铝活塞铸造金属型和工艺设计质量，降低铝活塞的生产制造成本。

2. 优化活塞金属型设计和工艺设计基本流程

铝活塞新产品金属型开发过程中，经常会遇到结构比较复杂或产品结构较特殊的产品，根据以往的经验设计和制造的金属型，生产过程中经常出现缩松、夹渣以及热应力集中导致的热裂等报废现象，迫使铸造工程师频繁改动金属型，从而延长金属型制造周期，引起客户抱怨。MAGMAsoft铸造模拟分析软件的引进，使传统的铸造工艺设计和现代计算机技术相结合，大大提高了模具设计质量，缩短了活塞铸件试制周期，提高了产品质量，降低了生产制造成本。利用MAGMAsoft铸造CAE软件优化铝活塞金属型设计是以传统的铸造工艺理论为基础，利用传热学、流体学和数值分析理论，通过对铝合金液在金属型型腔内流动、凝固的物理过程中流动场、温度场、应力场等的计算，使用各种结果判据，模拟出活塞铸件的缺陷部位，采用相应措施改进铸造金属型的结构和铸造工艺，结合计算机软件和硬件技术对铸造工艺进行辅助设计。

图1是铸造模拟软件优化铝活塞金属型设计的流程。

首先，根据传统的类似结构金属型对铝活塞进行毛坯、浇注系统及金属型三维造型，然后把三维图型转化成“stl”文件，导入MAGMAsoft软件并对三维造型进行网格划分，根据类似活塞工艺设计经验进行参数设定并进行模拟计算。根据模拟结果找出易出现缺陷的部位，并对原铸造工艺及金属型结构的合理性进一步优化，如此反复进行，直至活塞浇注系统结构和铸造工艺达到最优，确定最后铝活塞金属型设计方案和铸造工艺。

3. 几种常用的判据分析

铸造过程的缺陷分析主要是通过MAGMAsoft凝固模拟分析软件提供的几种缺陷判据进行缺陷判断的，常用的几种缺陷判据有凝固时间判据、热节判据、热模数判据、液态到固态转变时间判据、温度场判据、气压判据及缩孔率判据。

（1）凝固时间判据　通过该活塞模拟完后的凝固时间判据（见图2），可以得出该活塞从浇注铝液到完全凝固所用的时间是85s，为日后活塞生产工艺设计提供了依据，能使得工艺设计更加准确，减少不必要的时间浪费，提高生产效率。

（2）热节判据　该判据可以反映出整体铸件热节产生的部位，根据模拟结果判断热节产生的部位，及时采取措施修改金属型设计方案，通过图3可以看出，该铸件的热节就在活塞顶部厚大处，因此为顶部厚大处设计的保温冒口对活塞铸件起到了良好的补缩作用。

（3）热模数判据　该判据可以分析活塞顶冒口大小是否合理，有效控制活塞顶冒口的直径，如果冒口设计太小，冒口起不到有效的补缩所用，易产生燃

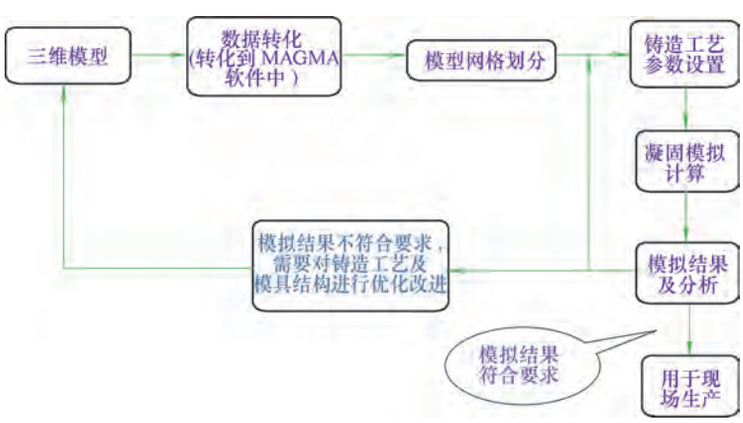


图1　利用MAGMAsoft铸造优化铝活塞模具设计的流程

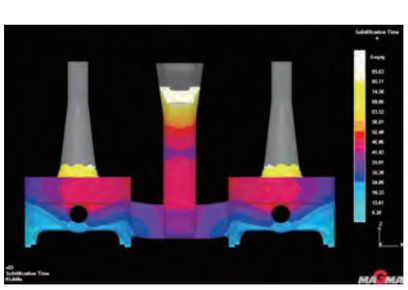


图2　凝固时间判据

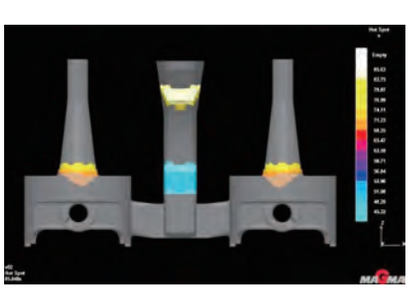


图3　热节判据

烧室缩松，反之如果冒口设计太大，活塞凝固时间会增长，降低生产效率，同时浪费铝液。根据经验公式，活塞顶冒口的热模数比在1.05～1.3之间最为合理，通过图4可以看出，热模数比=1.488÷1.37=1.09，说明顶冒口大小设计是合理的。

（4）液态到固态转变时间判据　该判据体现出铝液在凝固过程中各个部位的凝固时间。通过图5可以看出，在活塞裙部与内销座处，铝液的凝固时间不同，活塞裙部较薄处先凝固，销座较厚处后凝固，即铝液的凝固基本为顺序凝固。

（5）温度场判据　该判据通过对活塞毛坯温度场和活塞模具温度场的分析，判断活塞及模具在凝固过程中各个部位的温度变化情况，是否符合顺序凝固的规则，同时对于模具结构改进有一定的指导作用。通过图6、图7可以看出，无论是铸件还是金属型的温度场都反映出温度从下到上温度逐次增高，因此为了提高生产效率，需要在温度较高处进行强制冷却。

（6）气压判据　通过该判据可以判断铝液在充型过程是否产生卷气，以及各部位的气压情况。如图8所示，在活塞顶面部位易产生窝气，在金属型设计时要提前考虑设气塞进行排气。

（7）缩孔率判据　该判据可反映出铸件产生缩孔缺陷的大小及分布位置，以提前预测易产生缩松缺陷的位置，采取措施优化金属型设计方案。如图9所示，说明浇道过桥部位及销座下方易产生缩松缺陷。

4. 结语

在铝活塞铸造生产中，通过充填过程、凝固时间、热节及模数计算、凝固过程、温度场等的模拟分析，可在铸件、金属型制造之前判断冒口补缩效果及其他部位凝固情况，及时发现铸件结构、铸造工艺上的缺陷，帮助改善工艺条件，有效预防铸件的缩孔、缩松等缺陷的产生，提高工艺出品率，降低生产成本。

铸造分析软件的应用是铸造工艺设计方法的飞跃，在新产品试制过程中能提供许多直观的参数，克服了由于铸造过程难以直接观察而带来的对活塞铸造生产的各种不利影响。计算机模拟技术的发展，为铸造工程师的设计提供了一种新的工具，通过对各种判据的分析，采用相应的措施改进金属型设计和工艺设计，能提高设计质量，缩短试制周期，提高产品质量，降低成本。

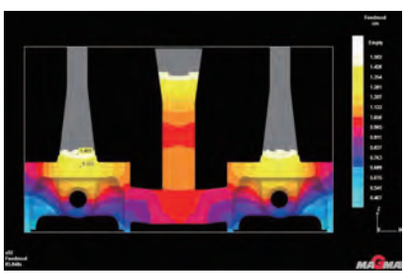


图4　热模数判据

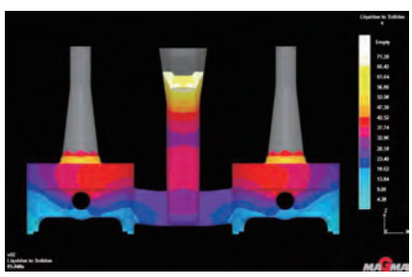


图5　液态到固态转变时间判据

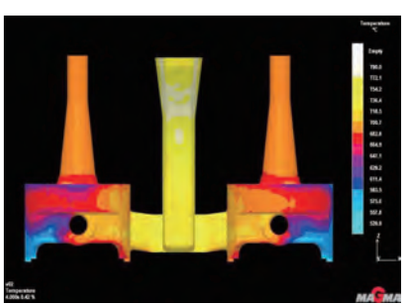


图6　活塞温度场

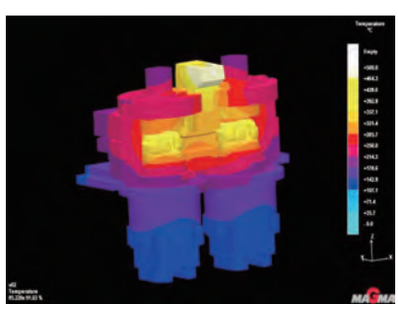


图7　模具温度场



图8　气压判据



图9　缩孔率判据

作者简介：俎训龙、张屹林、崔艳兵、王海涛，山东滨州渤海活塞股份有限公司。

MW 20140826