

铸造铝合金生产配料最优化系统的建立与实施

马 涛

(河北四通新型金属材料股份有限公司 河北 保定 071105)

摘 要 基于铸造铝合金生产配料的特点、产品的化学成分、力学性能等技术要求及原材料物性、炉组状况等,提出了铸造铝合金配料的最优化系统,并使用 MATLAB 编制计算程序予以实现。与手工计算对比,该生产配料系统具有计算速度快、准确性高、通用性强等优点,较手工计算可降低材料成本约 1.07%。

关键词 铸造铝合金; 配料; 优化; MATLAB

中图分类号: TF801.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-3818(2011)05-0025-03

ESTABLISHMENT AND IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION SYSTEM FOR CASTING ALUMINUM ALLOY INGREDIENTS

Ma Tao

(Hebei Sitong New Metal Material Co., Ltd., Baoding 071105, Hebei)

Abstract Based on the characteristics of cast Aluminum alloy production ingredients, the chemical composition, mechanical properties and other technical requirements of the product, raw material properties, furnace status, an optimization system for casting Aluminum alloy production ingredients was proposed, and the system was achieved by MATLAB program. Compared with manual calculation, this system has higher computing speed, accuracy and versatility, and the material costs can be reduced by about 1.07%.

Key words casting aluminum alloy; ingredients; optimization; MATLAB

线性规划是研究线性约束条件下线性目标函数极值问题的数学理论和方法,可以为更合理地利用人力、物力、财力等资源提供最优决策支持。生产配料优化是一个比较典型的线性规划问题,在钢铁、陶瓷、有色金属等配料方面有着较为广泛的应用。翟启杰、吴悦提出了铸造合金的配料原理,并基于 Visual Basic 开发了配料优化软件,用于铸铁轧辊配料的优化^[1]。张久明提出了使用 LP 方法优化熔铸配料^[2],用于 1145、1060、8011 等变形铝合金的配料优化,减轻了工人的劳动强度,降低了生产成本。吴胜利、韩宏亮等以高炉炼铁工艺计算为基础,结合各种含铁炉料的软熔性能和含铁炉料之间的高温反应性等知识,提出了一种高炉优化配料的数学模型^[3]。通过生产高炉现场数据验证,表明该模型能够计算出同时兼顾炉料冶金性能和配料成本的高炉炉料结构。谢清纯、史峰等提出了一种陶瓷原料配比方

案优化方法^[4]。算例分析表明该优化方法可为陶瓷配方提出初步的优化方案,通过调整各种成分的优化权重或直接指定某些成分含量的界限,可借此更深入地优化陶瓷配方。

目前,铸造铝合金生产配料的计算一般通过计算器或者 EXCEL 等手工方式完成,重点考虑的是产品的化学成分要求等。由于可选用的材料较多,因此其配料计算出的只是满足产品化学成分的一个配料方案,不是严格的优选计算结果,不能对材料成本进行有效控制,且计算过程比较繁杂,工作效率较低。为克服手工配料计算的不足,作者根据铸造铝合金生产配料的特点、产品的化学成分、力学性能等技术要求、原材料的使用性能、炉组状况等,提出了铸造铝合金生产配料的线性规划优化模型,并使用 MATLAB 编制计算程序予以实现。

1 铸造铝合金原材料

作者简介: 马 涛(1976-)男,助理工程师,硕士,2004年毕业于大连理工大学。

铸造铝合金的合金化(或杂质)元素主要有 Si、Fe、Cu、Mg、Zn、Mn、Ti 等,并且其含量可以有一定的浮动,因此其生产配料可以有多种组合,为优化设计提供了基本条件。铸造铝合金生产常用的原材料主要有 A00 铝、工业硅、金属铜、金属镁、金属锌、金属锰等纯金属、钛中间合金、锶中间合金、锑中间合金等中间合金以及各种再生铝。再生铝一般有生铝和熟铝之分,生铝一般指含硅较高的铸造铝合金废料,具有较高的硬度,熟铝一般指含杂质元素较低的变形铝合金废料,具有较好的延展性。如果将散碎的生铝和熟铝复化成锭,一般称为生锭和熟锭。再生铝较之纯铝有一定的价格优势,如果选择适当,可以充分利用其中的合金化元素,替代或减少纯金属的用量,这样不仅可以降低成本,同时还可以缩短合金

化时间,提高生产效率。再生铝虽然有价格优势,但是使用时也要根据产品性能要求、材料形状、炉组状况等进行综合考虑。一般对力学性能有一定要求的合金不宜全部使用再生铝,应根据要求的不同适当控制 A00 铝添加比例。如易拉罐边角料(压块)适于用熔化的铝液浸熔,因此其添加比例一般不超过 30%,不然则增加金属烧损,降低生产效率。由于易拉罐边角料比较薄,拆解件含有一定油污及表面氧化,因此其熔炼时的损耗要高于锭状金属,在对比计算时其价格不应单纯采用采购价格,而应该参照锭状产品,按照额外增加的烧损率折算成实际价格,即实际价格 = 采购价格 ÷ (1 - 额外烧损率)。表 1 列出了四通新型金属材料股份有限公司当前库存的铸造铝合金常用原材料的主要成分及参考价格。

表 1 铸造铝合金原材料主要成分及参考价格

材料名称	Si /%	Fe /%	Cu /%	Mg /%	Zn /%	Mn /%	Ti /%	Ni /%	Sn /%	Pb /%	Cr /%	Ca /%	Al /%	价格 /元·kg ⁻¹
A00	0.08	0.12	0.002	0.007	0.007	0.001	0.005	0.003	0.0004	0.001	0.001	—	余量	18.55
易拉罐边角料	0.25	0.4	0.19	1.1	0.04	0.88	0.01	0.004	0.001	0.004	0.02	—	余量	16.6
拆解件	9.0	1.1	2.8	0.1	1.4	0.38	0.005	0.006	0.004	0.05	0.03	—	余量	16.2
高铁生锭	6.0	4.805	0.037	0.004	0.054	0.050	0.197	0.009	0.001	0.002	0.02	—	余量	15.8
熟锭	0.631	0.415	0.795	0.405	1.766	0.170	0.032	0.006	0.001	0.003	0.004	—	余量	17.4
A356 冒口锭	5.427	1.500	0.059	0.056	0.013	0.009	0.076	0.005	0.002	0.002	0.01	—	余量	16.4
1#生锭	8.916	0.343	1.832	0.088	0.216	0.059	0.011	0.016	0.002	0.003	0.02	—	余量	17.5
2#生锭	3.529	0.251	0.259	0.761	0.007	0.049	0.042	0.004	0.003	0.003	0.01	—	余量	17.4
553 工业硅	97.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	0.5	12.95
441 工业硅	98.0	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	0.4	13.6
3303 工业硅	98.5	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.3	15.1
铜	—	—	99.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72.125
镁	—	—	—	99.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.875
锌	—	—	—	—	99.0	—	—	—	—	—	—	—	—	18.4
锰	—	—	—	—	—	99.0	—	—	—	—	—	—	—	20.15
钛中间	0.1	0.2	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	余量	27.15

注: 主要金属价格参考 2011 年 7 月 29 日上海有色网(www.smm.cn) 报价。

2 最优化模型的建立

下面以欧洲标准铸造铝合金 EN AC - AlSi6Cu4 产品为例,建立生产配料的最优化模型,其化学成分的技术标准见表 2。实际生产配料时不能按照技术

标准规定的成分上下限进行,而是要综合考虑产品质量的稳定性、原材料成分的波动、单个元素的价格等,对每种元素设定一个配料控制范围,详见表 2。

设单炉次配料量 10t,以 x_i (单位: kg) 表示各种

表 2 EN AC - AlSi6Cu4 成分技术标准及配料控制范围

%

标准	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Ti	Ni	Pb	Sn	Ca	其他单个	其他总和	Al
技术标准	5.5~6.5	3.2~4.5	0.3~0.5	0.30~0.60	≤0.30	≤0.50	0.1~0.2	≤0.30	≤0.10	≤0.05	≤0.015	≤0.05	≤0.35	余量
配料控制	5.9~6.1	3.5~3.6	0.42~0.45	0.4~0.45	≤0.23	≤0.41	0.12~0.13	≤0.25	≤0.05	≤0.03	≤0.01	≤0.03	≤0.3	余量

原材料的用量,其中 x_1 表示 A00 用量, x_2 表示易拉罐边角料用量, x_3 表示拆解件用量, x_4 表示高铁生锭用量, x_5 表示熟锭用量, x_6 表示 A356 冒口锭用量, x_7 表示 1#生锭用量, x_8 表示 2#生锭用量, x_9 表示

553 工业硅用量, x_{10} 表示 441 工业硅用量, x_{11} 表示 3303 工业硅用量, x_{12} 表示金属铜用量, x_{13} 表示金属镁用量, x_{14} 表示金属锌用量, x_{15} 表示金属锰用量, x_{16} 表示铝钛中间合金用量; 以 c_i (单位: 元/kg) 表示以

上相应原材料的价格;以 m_i (单位: kg) 表示以上相应原材料的库存数量;以 a_{ij} (%) 表示第 i 种原材料中第 j 种元素的含量,其中 $j=1$ 表示 Si 元素 $j=2$ 表示 Fe 元素 $j=3$ 表示 Cu 元素 $j=4$ 表示 Mg 元素 $j=5$ 表示 Zn 元素 $j=6$ 表示 Mn 元素 $j=7$ 表示 Ti 元素 $j=8$ 表示 Ni 元素 $j=9$ 表示 Sn 元素 $j=10$ 表示 Pb 元素 $j=11$ 表示 Cr 元素 $j=12$ 表示 Ca 元素;以 Eu_j 表示 j 元素含量的上限要求,以 El_j 表示 j 元素含量的下限要求,如无下限要求则以 0 表示。配料优化就是在满足各种约束条件下,使各种原材料组合成本最低,由此可建立如下优化模型。

$$\begin{aligned} \min f(x) &= \sum_{i=1}^{16} c_i x_i; \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^{16} x_i &= 10\ 000; \\ 0 \leq x_i &\leq m_i \quad i=1, 16; \\ x_1 \geq 1500 \quad x_2 &\leq 3\ 000; \\ El_j \leq (\sum_{i=1}^{16} x_i a_{ij}) / 10\ 000 &\leq Eu_j \quad j=1, 12 \end{aligned}$$

3 最优化模型的实施

以上优化模型是一个典型的线性规划模型,可以采用单纯形法求解。MATLAB 是由美国 Math-Works 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用

的视窗环境中,为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案。本文即调用 MATLAB 中的优化工具箱来求解以上线性规划模型。

程序设计分为两部分,第一部分为材料信息数据库,包括材料成分、价格、库存数量等。下面以生锭为例介绍原材料信息的设计,生锭以“sd”代表,后面加字母及数字代表不同的供应商及批次,如 sda1 代表 A 供应商 1 107 2901 批次生锭。以一个行向量表示某种材料的全部信息,前 12 项表示元素含量信息,第 13 项表示价格信息,第 14 项表示库存数量信息,具体表示方法如下。

% 注释信息: 生锭 A 供应商 1 107 2901 批次
sda1 = [8.92 0.35 1.83 0.09 0.22 0.06
0.01 0.02 0.002 0.003 0.02 0.17 5.23];

程序第二部分包括目标函数、约束条件、优化函数、计算结果输出、计算结果验证等,将以上线性优化模型采用 MATLAB 格式化语言录入计算程序中,每种产品编制一个专用计算程序包。

采用以上程序,可计算出 AlSi6Cu4 产品的最优配料如下:

A00 铝 1 500kg、易拉罐边角料 3 000kg、拆解件 952kg、A356 冒口锭 163kg、1#生锭 3 842kg、553 工业硅 169kg、金属铜 250kg、金属镁 4.5kg、金属锰 8kg、铝钛中间合金 111.5kg,合计 10 000kg,单位成本 18 645元/t,主要成分计算值见表 3。

表 3 EN AC - AlSi6Cu4 主要成分计算值

%

牌号	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	Ni	Pb	Sn	Ca
AlSi6Cu4	6.1	0.41	3.5	0.42	0.23	0.42	0.12	0.006	<0.05	<0.05	<0.01

原手工计算配料为 A00 铝 2674kg、易拉罐边角料 3 470kg、拆解件 1 667kg、1#生锭 1 390kg、553 工业硅 380kg、金属铜 304kg、铝钛中间合金 115kg,合计 10 000kg,单位成本 18 850 元/t。

由以上计算结果可以得出,采用优化模型计

算的配料较手工计算材料成本降低 205 元/t,降幅为 1.09%。为了验证本优化模型的通用性和准确性,我们对另外 5 种产品的配料也进行了优化计算,并与原手工计算配料进行了成本对比,详见表 4。

表 4 优化模型与手工计算配料单位成本对比

产品牌号	手工计算材料成本 元·t ⁻¹	优化模型材料成本 /元·t ⁻¹	成本降低 /元·t ⁻¹	成本降幅 /%
AlSi6Cu4	18850	18645	205	1.09
AlSi10Mg	17836	17618	218	1.22
ZLD108	17238	17096	142	0.82
ADC12	16467	16355	112	0.68
AC3A	17542	17333	209	1.19
AC4B	18961	18695	266	1.40
平均降低	—	—	192	1.07

(下转第 36 页)

高炉炉况恢复必须首先打通中心气流,而边缘问题应该不大,即使有粘结应该影响也不大,因此诊断为炉缸堆积,处理主要以活跃炉缸、打通中心气流为主。主要处理措施有:休风堵风口缩小进风面积,提高风速以打通中心气流;配入锰矿,以改善渣铁流动性,有助于炉缸内渣铁的排放;减少冷却壁冷却水量,提高进水温度以减少炉墙粘结的机会;缩矿批、减轻焦炭负荷,降低煤比。

经过上述处理后,2011年3月8日炉缸中心温度逐步回升到681℃,炉温也很充沛,炉缸内渣铁可排放干净,而且没有烧坏风口的现象。据此判断,炉缸问题也不大。然而滑料现象并没有消除,仍很容易悬料。

(3) 第三阶段,2011年3月12~15日。经过第二阶段的处理,炉缸问题不大,但炉况仍没有根本解决。因此,认为炉墙存在一定程度的粘结,而且对边缘气流造成了较大的影响,应采取措施对炉墙进行“清洗”。主要是矩阵上松边缘,由 C_{332215}^{987651} O_{L23321}^{98765} O_{S22}^{109} 变为 C_{332225}^{987651} O_{L23322}^{98765} ,并且焦炭、矿石整体向中心移动1°。通过2011年3月12~13日调整矩阵开放边缘一个冶炼周期后,炉墙温度大部分上升,达30℃左右。一个半周期后,5~10段,各方向炉墙温度均上升了,水温差由一直不动的1.5℃左右上升到5.0℃,有炉墙粘结物掉下,达到了“清洗”炉墙的目的,而且比预想的效果要好。

经过处理炉墙后,滑料、管道情况得到控制,炉况明显好转。2011年3月15日开始恢复各项参数,炉况逐步向最佳状态迈进。

3 结论

(上接第27页)

4 结论

上述配料优化系统与手工计算相比,具有计算速度快、准确性高、通用性好等优点,可快速准确地

(1) 入炉原燃料质量稳定是高炉稳定、顺行的基础。当原燃料质量出现波动时,高炉操作上应有应对调剂措施。

(2) 炉墙粘结、结厚对边缘气流的影响较大,会引起边缘管道、滑料甚至悬料。

(3) 高炉炉墙结厚特别是炉身上部结厚极难处理,普遍采用的方法是通过边缘气流来“清洗”。但边缘气流强弱难以把握:边缘气流不足则达不到效果,处理时间长;边缘气流过强,又会导致粘结物大量进入炉缸后造成炉凉及炉缸堆积。所以处理炉身结厚一是必须掌握好边缘气流的大小,二是要提前做好预防炉凉的准备。

(4) 处理炉缸不活及炉墙结厚时,炉温要适当提高,但也不能太高,太高则铁水流动性变差,影响炉缸内渣铁的排放。保持[Si]0.8%~1.0%,物理热达到1510℃即可。

(5) 长期冷却强度大、冷却壁水温差低位运行,在原燃料质量变差时可能引起炉墙粘结、结厚。当原燃料质量变差时,涟钢7#高炉水温差应适当控制上限高3℃左右。

(6) 这次炉况失常处理过程虽然走了“弯路”,但第二阶段处理炉缸为第三阶段处理炉墙打下了较好的基础,为第三阶段炉况的快速恢复起到了一定的作用。

(7) 炉况严重失常的诊断与处理难度大,一般要很长时间,所以处理与恢复不能过急,要一步一个台阶。对每一处理措施都要充分考虑到其后果及效果。

(8) 高炉日常操作必须精细,包括炉温和碱度的调剂控制、装料的控制等。

计算出满足产品成分、力学性能、材料物性、炉组状况等条件下的最优配料方案,其材料成本较手工计算平均降低1.07%,具有非常显著的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 翟启杰,吴悦. 铸造合金优化配料原理与计算机软件开发[J]. 现代铸铁, 1999, 75(3): 60-61.
- [2] 张久明. 用LP方法优化熔铸配料[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(10): 7-8.
- [3] 吴胜利,韩宏亮,徐少兵,等. 高炉优化配料数学模型的研究[J]. 钢铁, 2007, 42(9): 19-23.
- [4] 谢清纯,史峰,姜甲,等. 陶瓷原料配比方案优化方法[J]. 系统工程, 2010, 28(2): 122-126.