

提高低压铸造铝合金车轮金属利用率的研究

赵丽红¹ 毕涛²

(1.秦皇岛兴龙轮毂有限公司河北省轻合金车轮技术创新中心; 2.秦皇岛邦迪管路系统有限公司)

摘要 阐述了产品设计阶段低压铸造铝合金车轮提高金属利用率的方法,即内轮缘优先采用无唇轮缘结构,轮辐背腔减重窝设计为双层减重窝,轮心减重窝设计为开口式减重窝等。通过实例及实际生产发现,该方案能有效提高铝合金车轮的金属利用率,降低生产成本。

关键词 铝合金车轮;金属利用率;双层减重窝

中图分类号 TG249.2;TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.02.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design Scheme of Casting Aluminum Alloy Wheel to Improve Metal Utilization Rate

Zhao Lihong¹, Bi Tao²

(1.Hebei Light Alloy Wheel Technology Innovation Center, Qinhuangdao Xinglong Wheels Co., Ltd.;
2.Bundy Fluid Systems Co., Ltd.)

Abstract: The design scheme of low-pressure casting aluminum alloy wheel was carried out to improve the metal utilization rate, such as the lipless rim structure for the inner rim of the wheel, the double-layer weight reduction nest for the back cavity of the spoke, and the open weight reduction nest for the wheel center. The example analysis and actual production verification show that the design scheme can effectively improve the metal utilization rate of aluminum alloy wheel and reduce the production cost.

Key Words: Aluminum Alloy Wheel, Metal Utilization, Double Deck Weight Reduction

汽车零部件市场竞争激烈,原材料价格日益增长,降低生产成本日益受到重视。本课题从铝合金车轮设计和毛坯设计两个阶段,阐述了在保证各工序成品率不发生变化的前提下提高铸造铝合金车轮金属利用率的措施,旨在为相关设计提供参考。

1 产品结构设计

1.1 车轮结构介绍

铝合金车轮主要由轮辋(包括轮缘)、轮辐和轮心组成,在设计阶段可以从轮辋结构、减重窝结构(包括轮辐减重窝和轮心减重窝)及正面造型这3个方面来考虑提高金属利用率的实施方案。车轮设计区域划分见图1。

车轮主要根据 TRA、ETRTO、JATMA、ISO 4000-2 和 GB/T 3487-2015 等标准进行设计。各轮辋设计标准总体相似,细节要求略有差异^[1]。以 GB/T 3487-2015 标准中 J 型轮辋为设计参考依据,介绍如何在铝合金车轮设计阶段提高金属利用率来达到节约成本的目的。

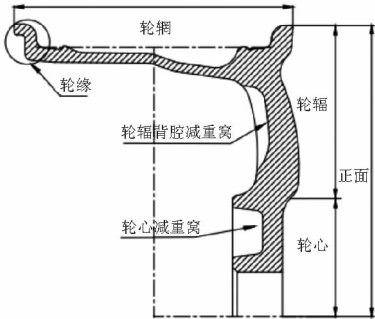


图1 车轮设计区域划分
Fig.1 Desiging zone of division wheel

1.2 轮辋和轮缘的结构设计

1.2.1 轮辋结构设计

根据 GB/T 3487-2015,车轮轮辋有一段自由设计区^[2],见图2,此自由设计区与装胎参数无关,只要不与所装配车辆的刹车钳干涉就可以自由设计,因此可以从此处研究提高金属利用率的措施。

因轮辋内壁的毛坯线是构成铝合金车轮顶模的型腔,所以此段必须考虑工艺起模角问题,顶模轮辋部位

收稿日期:2021-05-06;修改稿收到日期:2021-07-13
第一作者简介:赵丽红,女,1983 年出生,工程师,河北秦皇岛(066000),E-mail:521-bt11h@163.com
引用格式:赵丽红,毕涛. 提高低压铸造铝合金车轮金属利用率的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(2):235-238.
ZHAO L H, BI T. Design scheme of casting aluminum alloy wheel to improve metal utilization rate[J]. Special Casting & Nonferrous Al-
loys, 2022, 42(2):235-238.

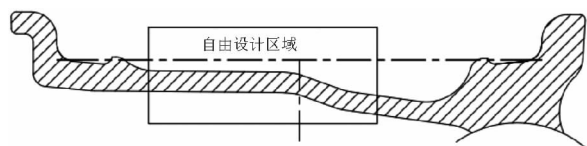
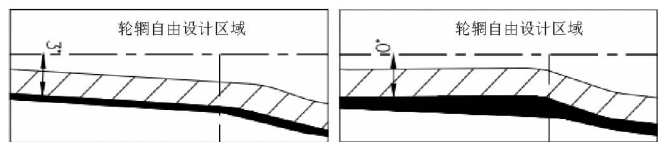


图 2 轮辋自由设计区域^[2]

Fig.2 Designing free zone of wheel rim

的最小起模角度为 3° ，所以铝合金车轮在不影响刹车空间的情况下轮辋的角度设计为 $\geq 3^\circ$ ，不会因工艺起模角度而增加加工余量；如果轮辋的角度 $< 3^\circ$ 时，将会增大机加工余量，其中黑色阴影部分为加工余量，见图 3。



(a) 轮辋角度为 3° 时的机加工余量 (b) 轮辋角度为 0° 时的机加工余量

图 3 不同起模角度时轮辋的机加工量

Fig.3 Machining rate of wheel rim with different pulling angle

1.2.2 轮缘结构设计

内外轮缘按照是否粘贴平衡块还分为有轮唇的轮缘和无轮唇的轮缘，如车轮在设计阶段设定的平衡模式为 NOR，平衡块需要粘贴到内外轮缘两侧，这时内外轮缘都必须设计轮唇，以便于安装平衡块；若设定的平衡模式为 ALU3P，平衡块需要粘贴到内轮缘处和正面轮辋内壁位置处，这时内轮缘必须设计轮唇，外轮缘则不要求。若设定的平衡模式为 ALU2P，则平衡块的位置需要粘贴在轮辋内壁的两端，这时内外轮缘都不要求设计轮唇，见图 4。

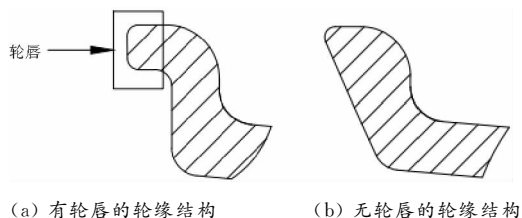
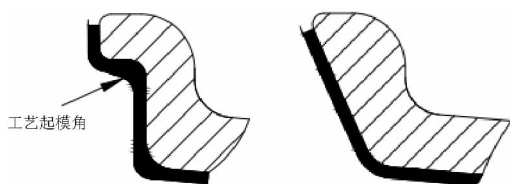


图 4 轮唇的轮缘结构

Fig.4 Wheel rim structure with wheel lip

有轮唇的轮缘结构在设计毛坯时需要考虑毛坯脱模问题，为了能够顺利脱模需要加大工艺起模角度，但同时也增加了多余的机加工余量，而无轮唇的轮缘结构无需考虑脱模问题，所以在毛坯设计阶段仅在产品面上均匀设计机加工余量即可，见图 5。黑色阴影部分为加工余量。

从图 5 可以看出，有轮唇的轮缘结构所需加工余量要大于无轮唇的轮缘加工余量，所以在设计阶段，在车辆无特殊要求的情况下优先选择 ALU2P 的平衡模式，将内轮缘设计为无轮唇轮缘结构来提高金属利用率，外轮缘结构根据机加工定位选择。



(a) 有轮唇的轮缘机加工余量 (b) 无轮唇的轮缘机加工余量

图 5 轮唇的轮缘加工余量

Fig.5 Machining allowance of wheel rim with or without wheel lip

1.3 减重窝结构设计

减重窝的底面低于机加工面，所以减重窝铸造成形后不需要机加工。合理的减重窝设计是在不影响强度的前提下，不但能减轻其质量还能提高金属利用率，降低生产成本。

1.3.1 轮辐背腔减重窝设计

轮辐背腔减重窝常规设计方法仅在轮辐背腔中心位置设计，见图 6，黑色阴影区域是机加工去料区域。

想要进一步提高金属利用率，就要减少机加工去料的区域，所以背腔减重窝的范围要扩大，但若仅扩大减重窝的范围，轮辐的强度会受到影响。现提出一种双层减重窝的设计方案，见图 7，第 1 层减重窝的范围很大，减重窝的边缘与窗口边缘留量为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ ，深度为 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$ ，且每个轮辐的第 1 层减重窝相连接，第 2 层减重窝设计在第 1 层减重窝之内，其设计范围及深度要根据轮辐强度进行设计，黑色阴影部分为设计双层减重窝后的机加工去料区域。



图 6 常规轮辐背腔减重窝

Fig.6 Weight-decrement cavity of back cavity in common spoke

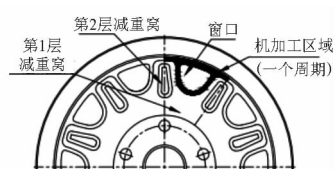


图 7 双层减重窝结构设计

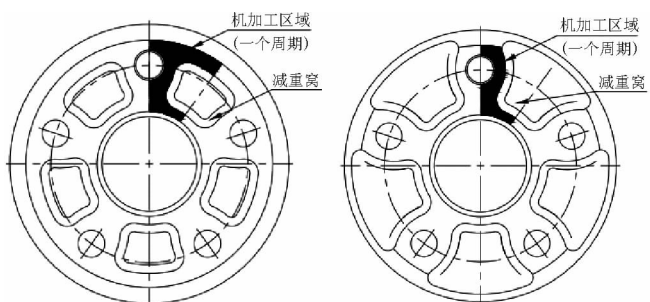
Fig.7 Design of double-layer weight-decrement cavity structure

结合图 6 和图 7，可以看出，轮辐背腔双层减重窝的设计方案能够有效地提高金属利用率。

1.3.2 轮心减重窝设计

轮心封闭和开口式减重窝设计见图 8。轮心减重窝常规设计方案见图 8a，为封闭式减重窝结构，提高轮心减重窝金属利用的设计方案与轮辐减重窝设计方案相似，扩大减重窝的范围，见图 8b，为开口式减重窝结构。

较好的减重窝设计方案就是轮心减重窝和轮辐第 1 层减重窝相连接，减少机加工去料范围，见图 9，黑色阴影部分为机加工去料区域。



(a) 轮心封闭式减重窝设计 (b) 轮心开口式减重窝设计

图 8 轮心封闭式和开口式减重窝设计

Fig.8 Design of weight-decrement cavity for closed or open wheel core

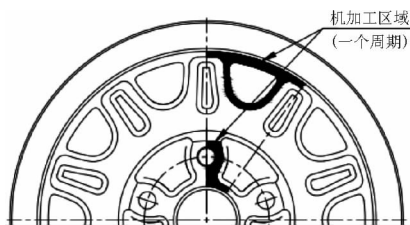


图 9 轮辐减重窝和轮心减重窝相连接的设计方案

Fig.9 Design of connection of spoke weight-decrement and wheel core weight-decrement cavity

1.4 车轮正面设计

车轮正面受客户需求的影响一般很难改变,所以从车轮正面来提高金属利用率有局限性^[1,2],但可以从实现车轮外观的工艺上进行改善,例如车轮正面的外观造型是亮面效果,这种效果提高金属利用率的有效方法就是减少正面机加工余量;若全涂装车轮,且颜色由一种或两种组成,这样的车轮优先设计正面不加工,不但能够达到想要的外观效果还能提高金属利用率。

2 实施方案

以 18×7.5 J 型轮辋的车轮为对象,来验证设计方案的有效性。优化前和优化后车轮的毛坯型线采用相同设计思路,即毛坯的最小加工量设定为 1.2 mm,轮辋根部最小补缩通道为 11 mm,见图 10~图 15。

图 10 为优化前车轮截面图。可以看出:①轮缘结构为带轮唇轮缘结构;②自由段轮辋采用 0°设计;③车轮正面为加工面;④轮辐减重窝为单层减重窝,减重窝设计在轮辐中段部位,且轮心减重窝为封闭减重窝。

图 11 为优化前车轮的毛坯型线设计图。其中黑色阴影外边缘线为毛坯线,黑色阴影区域为机加工去料区域。可以看出,内轮辋位置处为了满足脱模要求,机加工余量增加量远大于 1.2 mm,且轮辋根部为了满足补缩要求,加工余量又一次地增加,轮辋中段增量为 3.4 mm,轮辋根部增量为 4.7 mm。

图 12 为优化前车轮背腔的减重窝结构,轮辐减重窝为单层减重窝,轮芯减重窝为封闭减重窝,黑色阴影

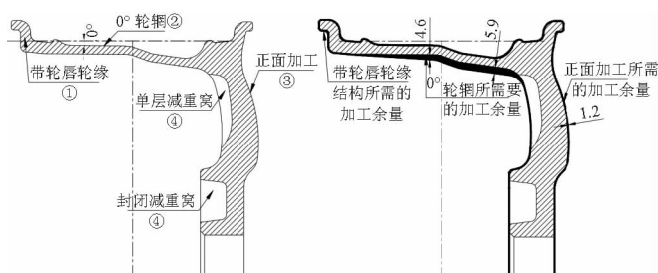


图 10 优化前车轮结构
Fig.10 Wheel structure before optimization

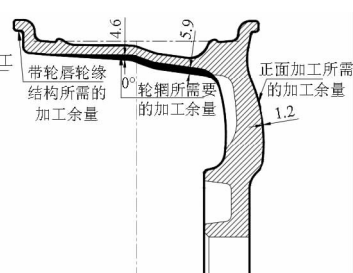


图 11 优化前车轮毛坯型线设计
Fig.11 Design of blank before optimization

部位为加工去料区域。该产品的质量为 11.36 kg,毛坯质量为 19.48 kg,金属利用率为 58.3%。

图 13 为优化后车轮的截面图。可以看到,有 4 点进行了优化:①轮缘结构由带轮唇轮缘结构设计为无轮唇轮缘结构,且平衡模式调整为 ALU2P;②自由端轮辋角度由原来的 0°设计为 3°,目的是减少因工艺起模角而增加多余的余量;③车轮正面由原来的加工面设计为非加工面;④轮辐减重窝由原来的单层减重窝设计为双层减重窝,第 1 层减重尽量多的覆盖轮辐背腔,第 2 层减重窝设计在第 1 层减重窝内,起到减重目的。轮心减重窝由原来的封闭式设计为开口式,且轮心减重窝和轮辐减重窝相连接。



图 12 优化前车轮背腔的减重窝结构
Fig.12 Weight-decrement cavity of back cavity before optimization

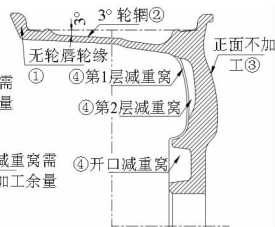


图 13 优化后车轮的截面图
Fig.13 Structure design after optimization

图 14 为优化后车轮的毛坯型线设计图。其中黑色阴影外边缘线为毛坯线,黑色阴影区域为机加工去料区域。可以看出,除轮辋根部为了满足补缩要求增加了 1.9 mm 的加工余量外,其余部分都按 1.2 mm 的加工余量进行设计,且正面无加工余量。

图 15 为优化后车轮减重窝结构图,轮辐减重窝为

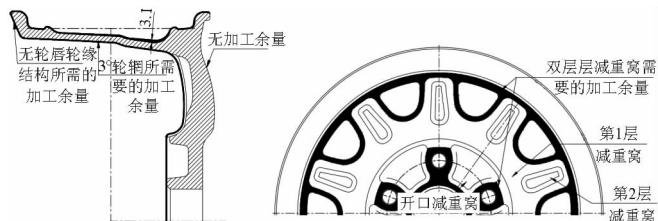


图 14 优化后车轮的毛坯型线设计图
Fig.14 Design of blank after optimization

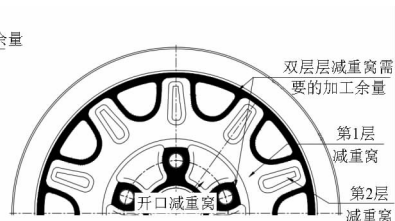


图 15 优化后车轮减重窝结构图
Fig.15 Weight-decrement cavity of back cavity after optimization

磁脉冲辅助半固态钎焊钎缝凝固组织的模拟研究

李雨连 黄尚宇 邓凌波 李清宁 冯 珂
(武汉理工大学材料科学与工程学院)

摘 要 制备了 Zn-15Al 半固态钎料,采用磁脉冲辅助半固态钎焊方法对铜铝管进行了钎焊试验;基于 LS-DYNA 分析了钎焊过程中钎料的剪切流变行为,结合接头微观组织分析,建立了钎料剪切流变速率与初始形核密度的关系。将建立的形核模型耦合到后续冷却过程,采用 ProCAST 软件模拟分析了磁脉冲辅助半固态钎焊过程中钎缝的凝固行为,分析了钎焊温度和剪切速率对凝固微观组织的影响。结果表明,随钎焊温度升高,晶粒尺寸明显增加;剪切速率增大,形核密度增加,晶粒数量增加,尺寸减小;钎焊温度为 410 ℃ 时,能够得到良好的钎焊接头组织且钎料晶粒圆整,尺寸细小。

关键词 Zn-15Al 钎料;磁脉冲;半固态;凝固组织

中图分类号 TG454 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.02.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Simulation of Solidification Microstructure of Brazing Seam in Semi-solid
Brazing Assisted by Magnetic Pulse

Li Yulian, Huang Shangyu, Deng Lingbo, Li Qingning, Feng Ke

(School of Material Science and Enigeering, Wuhan University of Technology)

Abstract: Zn-15Al semi-solid solder was prepared and brazing experiment of Cu/Al tube was carried out by mag-
netic pulse assisted semi-solid brazing. The shear rheological behavior of solder during brazing process was ana-
lyzed based on LS-DYNA, and the relationship between shear rate and initial nucleation density was established
combined with microstructure analysis of the joint. The nucleation model was coupled to the subsequent cooling
process, and the solidification behavior of the brazing joint microstructure in the semi-solid brazing process assis-
ted by magnetic pulse was simulated and analyzed by ProCAST software. The effects of the brazing temperature
and shear rate on the solidification microstructure were analyzed. The results indicate that the grain size is in-
creased obviously with the increase of brazing temperature. As the shear rate increases, the nucleation density is
raised, and the number of grains grows while the grain size is decreased. When the brazing temperature is 410 ℃,
desirable microstructure of the brazing joint can be obtained, and the grains become round and smaller.

Key Words: Zn-15Al Solder, Magnetic Pulse, Semi-solid, Solidification Microstructure

收稿日期:2021-05-22;修改稿收到日期:2021-06-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475345)

第一作者简介:李雨连,女,1996 年出生,硕士研究生,武汉(430070),E-mail:2366634701@qq.com

通信作者:黄尚宇,男,1963 年出生,教授,武汉(430070),E-mail:huangshy@whut.edu.cn

引用格式:李雨连,黄尚宇,邓凌波,等. 磁脉冲辅助半固态钎焊钎缝凝固组织的模拟研究[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(2):238-242.

LI Y L, HUANG S Y, DENG L B, et al. Simulation of solidification microstructure of brazing seam in semi-solid brazing assisted by mag-
netic pulse[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(2):238-242.

双层减重窝设计,轮心减重窝为开口式减重窝,且轮辐的第一层减重窝和轮心减重窝相连接,轮辐的第二次减重窝设计在第一层减重窝内,其中黑色阴影部位为加工去料区域。

经优化设计后的车轮质量为 11.13 kg,毛坯质量为 15.21 kg,优化后的车轮金属利用率为 73.2%。优化后金属利用率大幅提高,证明了该方案的有效性。

该提高金属利用率的设计方案已经应用于实际生产,经多次生产验证,金属利用率提高了 6.2%~16.7%,且尺寸越大的车轮金属利用率提高的效果越明显。

3 结 语

在车轮设计阶段提出了低压铸造铝合金车轮的金属利用率的设计方案:①优先采用无轮唇的轮缘结构;②轮辋中段的角度的 $\geq 3^\circ$;③轮辐背腔和轮心的减重窝设计为双层减重窝等,以提高金属利用率,该设计方案能将低压铸造铝合金车轮金属利用率提高到最大化,有效地降低生产成本。

参 考 文 献

[1] 宋柄材.铸造铝合金车轮的轻量化设计[J].铸造工程,2015(2): 30-32.
[2] GB/T 3487-2015.乘用车轮辋规格系列[S].

(编辑:张正贺)