

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2025.4120

铝合金压铸用水基脱模剂性能测试研究

洪富贵¹,冯佳雄¹,熊彬¹,陈思通²,吴孟武²

(1. 广东鸿特精密技术(台山)有限公司, 广东 台山 529262; 2. 武汉理工大学汽车工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:脱模剂是压铸生产工艺中必不可少的辅助剂,选用不当会造成铸件出现表面质量问题和缺陷。因此,在上机使用前,合适的性能测试非常必要。选取生产中常用的两种商用水基脱模剂(A型、B型),研究了脱模剂典型性能指标的测试方法。通过黏度、粒径、热重、气相色谱质谱联用、接触角和表面张力及室温稳定性测试,对两种脱模剂的脱模性、热稳定性、涂附性、室温稳定性进行综合评估分析,结果表明,A型脱模剂较B型脱模剂的热稳定性好、脱模效果好、气体挥发量少、不易产生气泡等。

关键词:压铸;水基脱模剂;性能测试

中图分类号: TG249.2; TG146.2+1

文献标识码:A

文章编号:1000-8365(2025)08-0816-09

Testing Research on the Performance of Water-based Release Agents for Aluminium Alloy Die Casting

HONG Fugui¹, FENG Jiexiong¹, XIONG Bin¹, CHEN Sitong², WU Mengwu²

(1. Guangdong Hongte Precision Technology (Taishan) Co., Ltd., Taishan 529262, China; 2. School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Release agents are indispensable auxiliary agents in the high-pressure die casting production process. Improper selection of the release agent will cause surface quality problems and defects in the casting. Therefore, it is necessary to conduct appropriate performance testing of the release agent prior to its machine application. Two commercial water-based release agents (type A and type B) commonly used in aluminium alloy die-casting production enterprises were selected to study the testing methods for typical performance indicators of release agents. Through viscosity tests, particle size tests, thermogravimetric tests, gas chromatography-mass spectrometry tests, contact angle and surface tension tests, and room temperature stability tests, the demolding performance, thermal stability, adhesion performance and room temperature stability of the two release agents were comprehensively evaluated and analysed. The results show that the type A release agent has better thermal stability and demolding performance than the type B release agent does. Moreover, the gas volatilization of the type A release agent is lower, effectively avoiding the generation of bubble defects in die castings.

Key words: high-pressure die casting; water-based release agent; performance testing

铝合金压铸件广泛应用于汽车、电子、通讯等领域^[1-3]。脱模剂是压铸生产工艺中必不可少的辅助剂,又称离型剂,主要作用是喷涂后在模具表面形成均匀的离型膜,使成型压铸件能够顺利离型^[4]。选用合适的脱模剂和适当的使用方式可以防止粘模,提高压铸件表面质量,起到细化晶粒,增加压铸件细晶层厚度,减少微气孔、提升压铸件气密性,提高生产效率的作用^[5-8]。而脱模剂选用不当会造成铸件表面出现粥样花纹、细小麻点、发黑等质量问题,

并导致冷隔、气孔、欠铸、变形、裂纹等铸造缺陷。近年来,随着压铸技术的进步与应用范围不断扩大,特别是大型一体化压铸所能生产的更大、更复杂的薄壁零件和免热处理合金材料压铸件等都更注重产品表面质量,这些发展趋势对压铸脱模剂的性能提出了更高要求。开展压铸脱模剂性能的系统研究,对于解决不同材质和尺寸结构压铸件的适用性问题,满足压铸产品的多样化需求具有重要意义^[9-12]。

铝合金压铸脱模剂按其性能特点可分为油基脱

收稿日期:2024-06-13

作者简介:洪富贵,1981年生,工程师。主要从事铝合金压铸技术研究工作。Email: fugui.hong@hongte.com.cn

通信作者:吴孟武,1984年生,教授。研究方向为铝合金零部件设计与成形制造技术。Email: wumw@whut.edu.cn

引用格式:洪富贵,冯佳雄,熊彬,陈思通,吴孟武. 铝合金压铸用水基脱模剂性能测试研究[J]. 铸造技术, 2025, 46(8): 816-824.

HONG F G, FENG J X, XIONG B, CHEN S T, WU M W. Testing research on the performance of water-based release agents for aluminium alloy die casting[J]. Foundry Technology, 2025, 46(8): 816-824.

模剂、粉基脱模剂和水基脱模剂^[13]。油基脱模剂的基本组成为油和石墨,润滑性好,但使用时烟雾大、污染环境、危害健康,同时存在火灾隐患,已逐渐被淘汰。粉基脱模剂的基本组成有锆英石、云母、滑石粉、石墨和微晶蜡等,目前粉基脱模剂的研究及使用较少且成本较高。综合脱模效果、经济效益和环境保护等因素,铝合金压铸行业主要使用水基脱模剂^[14-17]。水基脱模剂的主要成分为硅油、合成蜡、添加剂、合成烃、乳化剂、水,具有脱模性好、冷却效果好、无污染、铸件表面光洁、少气孔,有利于自动化操作和提高生产效率等优点,应用较为广泛^[18-21]。想要获得脱模剂的实际使用效果,最佳的检验方法是现场上机测试。然而,现场实地测试通常会以损失铸件、消耗原料和占用设备资源为代价。为了减少现场上机测试的次数,利用实验设备测试脱模剂的性能,对其作出合适的评价极其必要。陈财康等^[22]研制了一种铝合金压铸高效水基脱模剂,通过多项性能表征和铝合金压铸实际测试,验证了脱模剂的性质稳定、脱模效果优异,其性能接近或达到了同类型进口脱模剂的水平,价格只有同类型进口的40%~50%。祝辉^[23]通过开展乳液稳定性、高温润滑性、高温润湿性测试,综合评估了一种铝合金压铸水基脱模剂的性能指标。文家鑫等^[24]通过测定脱模剂的运动黏度、稳定性、腐蚀性、高温成膜性等分析了脱模剂的性能。赵秋生^[25]配制了一种有机硅水基脱模剂,并通过固含量测试、粒径测试、表面张力测试等表征了脱模剂的性能,与市售样品对比,验证了所配制脱模剂的可行性。Rungsima等^[26]使用傅里叶变换红外光谱、接触角、热重分析、附着力测试仪和流变仪等测试脱模剂的热稳定性、附着力和流变特性等,综合分析了其使用性能。上述研究人员通过开展脱模剂的性能分析,得到了一些可行的脱模剂测试方法和相关性能结果,但并未针对实际压铸生产中出现的产品质量问题(如起泡等)开展脱模剂性能的综合分析测试。

本文从解决实际生产中压铸件质量及缺陷问题的需求出发,针对铝合金压铸生产中常用的两种商用水基脱模剂,系统开展影响压铸件脱模效果与产品质量的性能测试,比较分析两种脱模剂的性能指标,为企业实际压铸生产提供参考。

1 实验材料及方法

1.1 实验用原料

选取在铝合金压铸生产中常用的A、B两型商用水基脱模剂,其中A型脱模剂的主要成分为聚硅

氧烷、合成烃、乳化剂和水,B型脱模剂的主要成分为硅油、活性蜡、表面活性剂、杀菌剂、防腐剂和水。结合压铸生产实际工况,筛选并构建了系列典型的水基脱模剂实验室表征测试方法,具体包括黏度测试、粒径测试、热重分析、气相色谱-质谱联用测试、接触角测试、表面张力测试以及室温稳定性测试、剪切稳定性测试等。基于上述测试方法,对两种目标脱模剂的脱模性能、热稳定性能、涂附性能及室温稳定性开展了综合评估与分析。

1.2 黏度测试

黏度是流体流动阻力的量度。流体黏度有动态黏度和运动黏度两种,其中动态黏度是流体内阻的量度,黏度越高,流体越黏稠;黏度越低,流体越稀薄。运动黏度表示流体在重力作用下流动时内摩擦力的量度,也可通过动态黏度与密度之比得出。使用旋转流变仪测试脱模剂的运动黏度,旋转流变仪适用于测量各种高、低黏度的流体,黏度变化范围广,测试简便,测量结果精度高、可重复性强。选用椎板测量法,将样品置于两个平行椎板之间,测量剪切力作用下脱模剂的流动阻力来计算脱模剂的黏度。

温度、测试间隙和剪切速率是椎板测量法中的3个初始设定值。温度设定在恒定值25℃;测试间隙是指2个椎板之间的距离,可以控制椎板间液体的剪切应力大小,椎板间间隙越小,椎板之间施加的剪切力越大,测量结果的准确性也就越高,选取测试间隙为0.146 mm;剪切速率是指在施加的剪切应力下,椎板之间液体的移动速率,指流体内部各个部分的相对速度,选取范围为0.1~100.0 s⁻¹之间。具体测试步骤是将准备好的样品依次放置在测量室中,并确保样品充满测试槽,然后设置测试条件,按照旋转流变仪的测试程序得到样品的黏度,具体黏度测试条件如表1所示。

表1 黏度测试条件
Tab.1 Testing conditions for viscosity

Experimental instrument	Experimental method	Experimental temperature/℃	Test gap /mm	Shear rate/s ⁻¹
KINEXUS Pro+ Rotary Rheometer	Laminometry	25	0.146	0.1~100

1.3 粒径测试

衡量压铸生产中所使用脱模剂的粒径和分散性可通过粒径测试获得,可采用的方法主要有激光粒度测试法、静态照相粒度测定法、动态图像分析法、沉降速度法等。使用基于Zeta电位的激光粒度测试法,优势在于其具有非侵入性,即不需要接触到液体,不会对样品造成物理或化学损伤,另外其可测量

粒径范围广,精准性高、操作简便、可重复性好,通常只需少量样品即可完成测试。具体操作为将已经用去离子水配比(按照 1:90 配比)的脱模剂稀释液放置在样品池中,并保持样品池表面平整,测试范围为 0.1~1 000 nm,以特定波长的激光束照射悬浮液,使悬浮颗粒散射光线,通过检测悬浮液中散射光的强度变化,计算悬浮颗粒的平均粒径。Zeta 粒径测试法可准确表征液体的粒径及其分布,测试条件如表 2 所示。

表 2 粒径测试条件

Tab.2 Testing conditions for determining the particle size

Experimental instrument	Experimental method	Dilution ratio	Test range /nm	Experimental dosage/mL
Britain-MALV ERN-Zetasizer Nano ZS90	Laser particle size measurement method	1:90	0.1~1000	3

1.4 热重测试

热重测试通过高精度电子天平对样品在受热条件下的质量变化进行测量和分析,常用的热重分析方法包括恒速加热法、动态加热法和等温恒重法等,采用恒速加热法进行实验。在热重测试中,选用适当载气非常重要,通常选择氮气或空气为载气,氮气具有较好的惰性和稳定性,可以有效避免样品与载气之间的反应,保证测试结果的准确性。根据样品的热稳定性和测试要求选取升温速率为 20 °C/min;在选择坩埚时,需要考虑样品的性质及其化学稳定性和热稳定性,常用的有氧化铝、铂、石墨、陶瓷等,选用高温稳定性好、价格更低的氧化铝坩埚。

脱模剂热重测试的具体步骤为:称取 2 种脱模剂各 35 mg,将样品放置在质量精确的热重天平试样舟中,设定测试温度范围和升温速率,对热重天平进行空白测试和校准,以保证测量结果准确,关闭舟盖确保测试环境封闭,通入氮气确保测试环境无杂质气体,开始加热,记录数据得出测试结果。结合压铸生产中的实际工况,采用 1:90 稀释后的脱模剂,设置了如表 3 所示的实验条件。

1.5 气相色谱质谱联用测试

气相色谱质谱联用分析可以提供所测物质成分的有效信息,以排除成分不匹配或污染工件的情

况。脱模剂受热后的气相色谱质谱联用分析 GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry) 可以同时获得挥发性成分的保留时间和质谱信息,提供更全面和准确的分析结果。GC-MS 能够检测到低浓度化合物,具有很高的灵敏度,对脱模剂中的微量化合物进行检测,同时提供高分辨率的色谱分离和质谱峰的检测,可以准确鉴定脱模剂中的各种组分,最后通过质谱图和库匹配技术,准确鉴定分析物结构,并识别未知化合物。

在进行分析时,载气的选用、温度和时间设定非常重要。载气的选择要考虑到目标化合物的挥发特性和色谱柱的分离效果。常用的载气包括氮气、氦气等。温度设定要根据样品性质和目标化合物的挥发温度进行优化,以保证分离效果。时间设定应考虑到分析范围、准确性和高效性等因素。测试时,首先打开 GC-MS 仪器,将毛细管连接到毛细管色谱柱并设定适当的程序,然后校准仪器,使用标准物质校准 GC-MS 仪,以确保仪器正常工作和准确测量。根据实验要求,将样品注射到 GC-MS 仪器的进样口,确保样品充分蒸发,并进入色谱柱,通过气相色谱柱进行化合物分离,根据样品性质和分析要求设定适当的温度梯度或等温条件,色谱柱分离后的化合物进入质谱,通过碰撞诱导解离 CID(collision-induced dissociation)等技术,将化合物分子进行碎裂,并测量碎片的质谱信号。最后对质谱数据进行分析和解释,利用质谱图进行化合物的鉴定,并通过库检索或比对标物质进行结构确认,根据分析结果解读脱模剂中的组分含量、种类,并评估其对应用的适应性,测试条件如表 4 所示。

1.6 接触角和表面张力测试

接触角测试是指在气、液、固三相交点处所作的气-液界面的切线,此切线在液体一方与固-液交界线之间的夹角是润湿程度的量度。表面张力描述的是液体分子间的相互作用力导致液体自身附着在物体表面上的现象,该测试可评估液体的表面张力以确定其润湿性和涂覆性。

静态接触角测试是常用的测试液体接触角的方法,在固体表面注入一定量的液体,使用相机或测角

表 3 热重测试条件

Tab.3 Conditions for thermogravimetric testing

Experimental instrument	Carrier gas	Temperature range/°C	Heating rate/(°C·min ⁻¹)	Sample quality/mg	Crucible
Japan - Hitachi-HITACHI STA200	Nitrogen	30~570	20	35	Al ₂ O ₃

表 4 气相色谱质谱联用测试条件

Tab.4 Conditions for gas chromatography-mass spectrometry testing

Experimental instrument	Test temperature /°C	Carrier gas	Time /min	Dilution ratio
Atomx P&T-Agilent 7890B-5977B	220	Nitrogen	37	1:90

仪测量液滴与固体表面的接触角度,操作简单,精度高,测试时间短,测试结果可重复性好,且可以预测和评估脱模剂与其他材料的界面作用。悬滴法通过对悬挂液滴质量的测量来评估表面张力,可以测试低表面张力的样品,得到的表面张力值较为准确,直观简单,与其他测量方法相比,其测量结果更直观,容易操作和标准化,适用于测定不同体积浓度液体的表面张力。

脱模剂静态接触角测试之前,先切割一小块钢板进行表面处理,用洗涤剂浸泡钢片 5 min,清水清洗后烘干,再用酒精去除表面油脂杂质水渍,烘干备用;在处理好的钢板上滴上脱模剂,用高精度摄像头拍摄液滴与样品交界处的有关图像,并将其导入计算机,得出接触角的值,每个样品测量 3 次取平均值,测试条件如表 5 所示。

表5 接触角测试条件
Tab.5 Testing conditions for contact angle

Experimental instrument	Dielectric material	Contact angle type	Number of tests/times	Dilution ratio
Germany - Dataphysics-OCA20	Steel plate	Static contact angle	3	1:90

采用悬滴法测试表面张力时,首先将待测试的脱模剂样品注入透明的玻璃管中,通过调节注射器内的压力使得脱模剂在管内形成液滴,等待其内部平衡;取出玻璃管并固定于悬滴法仪器上,调整高度和角度,使液滴自由悬挂于玻璃管口,仪器中低于液滴中心的点为测角点。通过显微镜或摄像机,记录液滴的形态,并使用图像处理软件测量液滴半径,通过 Young-Laplace 方程计算液滴表面张力,得到脱模剂的表面张力值,测试条件如表 6 所示。

表 6 表面张力测试条件
Tab.6 Testing conditions for surface tension

Experimental instrument	Test method	Number of tests/times	Dilution ratio
Germany - Dataphysics-OCA20	Hanging drop method	3	1:90

1.7 室温稳定性测试

脱模剂生产完成后贮存一定时间使用,同时在运输和使用过程中会受到外部因素的影响,这些都要求脱模剂有较好的室温稳定性。能保证其在生产和实际使用中的稳定性和可靠性,进而确保良好的脱模效果。常用的稳定性测试主要有储存稳定性测试和剪切稳定性测试。脱模剂的储存稳定性是测定储存在一定条件下的脱模剂是否能长期保持其状态和性能稳定;剪切稳定性是测试脱模剂在运输和

使用过程中的抗剪切性能,以验证是否能保持稳定的涂布性和脱模效果。

为了测定脱模剂在日常储存中的稳定性,在室温下密封避光静置 A、B 两种水基脱模剂,3 个月后观察其是否不分层、不漂油、不沉积。剪切稳定性是通过将稀释后的水基型脱模剂在 2000 r/min 的 JJ-1A 型电动搅拌机下搅拌 30 min,相关参数如表 7 所示。搅拌完成后观察脱模剂是否出现油水分离现象或有固态物质析出。

表 7 剪切稳定性测试条件
Tab.7 Conditions for shear stability testing

Experimental instrument	Speed / (r·min ⁻¹)	Stirring time /min	Dilution ratio
JJ-1A electric mixer	2 000	30	1:90

2 实验结果及讨论

2.1 黏度测试结果

黏度测试可以评估脱模剂的流动性能。脱模剂的流动性能影响脱模质量,进而影响压铸件的品质。如果脱模剂过于黏稠,脱模剂喷涂困难且不能均匀地涂在模具表面,导致脱模剂沉积,造成压铸件发黑,表面质量差,清理困难,影响生产效率;如果脱模剂太稀薄,喷涂的脱模剂会在模具上流淌,不易附着,造成一定浪费,同时合金液与模具的粘连会影响模具寿命,不易脱模,进而引起拉伤、开裂等缺陷。图 1 为两种脱模剂的黏度测试结果。

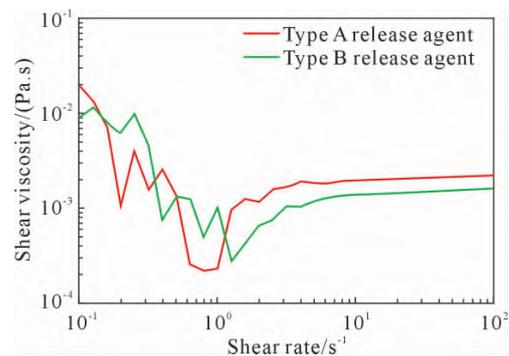


图 1 黏度测试结果
Fig.1 Viscosity testing results

根据图 1 所示的黏度测试结果,取剪切速率 10 s^{-1} 之后的稳态数据计算两种脱模剂的平均值,得 A 型脱模剂的黏度为 $2.10 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$,B 型脱模剂的黏度为 $1.49 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。符合使用条件的水基脱模剂室温黏度应该在 $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 之间,根据测试结果,两种脱模剂均符合要求。

2.2 粒径测试结果

脱模剂主要是由多种化学物质混合乳化而成,对于水基脱模剂,起主要润滑隔离作用的油相以微

小液滴的形式分散在水中,油相液滴粒径及其分布与整个脱模剂的稳定性有着直接的关系。如果粒径过大或过小,将会影响脱模涂层的黏度和平滑度,进而影响压铸件的表面质量;如果微小颗粒没有均匀地分散在脱模剂中,会导致涂层不均匀,造成压铸件出现粘模、脱模剂沉积等质量问题。根据乳液基本原理可知,只有油相液滴较小且分布均匀的乳液才能表现出强的稳定性,从而呈现良好的脱模效果。粒径测试结果如图 2 所示。

根据图 2 两种脱模剂的 3 次测量结果,得到 A 型脱模剂平均粒径为 180.83 nm,B 型脱模剂的平均粒径为 215.30 nm。PDI(polydispersity index)是反映粒径分布宽度的无量纲数值,范围为 0~1,数值越小,粒度越均匀,粒度分布越集中。A 型脱模剂的 PDI 为 0.148,B 型脱模剂的 PDI 为 0.129。

2.3 热重测试结果

脱模剂高温受热之后的气体挥发量和固体残余量与压铸件质量有直接关系。水基脱模剂喷涂在模具表面后的高温润滑和隔离性能,是固体膜和气膜润滑共同作用的结果。气膜是稀释后的水基脱模剂受热分解的气体产物,固体膜是不挥发的残余物附着在模具表面形成的微米级厚度薄膜。如果在高温下脱模剂挥发过多,可能导致形成的皮膜过薄,出现压铸件拉伤、粘模,同时挥发过多会导致气体量过多,这些气体未及时排出型腔会使铸件内部产

生气泡、气孔,热处理后影响压铸件质量,因此性能优异的脱模剂应该有更好的高温稳定性、脱模性和抗粘模性。

热重测试结果如图 3 所示,观察铝液压铸前 220 °C 模温温度和脱模剂接触铝液 570 °C 这 2 个温度点,发现 A 型脱模剂的剩余量较多,挥发气体量较少;B 型脱模剂的剩余量较少,挥发气体量较多。

2.4 气相色谱质谱联用测试结果

性能良好的脱模剂受热后应生成较少的气体和气体种类,过多的气体会造成压铸件气孔缺陷,不完全燃烧的有机气体会造成压铸件发黑,污染压铸件表面,影响表面质量和后续热处理。气相色谱质谱联用测试结果如图 4、表 8 和 9 所示。

由图 4 可知,A 型脱模剂的波峰较少,B 型脱模剂的波峰较多;结合表 8 和 9 的质谱结果表明,A 型脱模剂的挥发气体除含有少量 Methane 和 Ammonia 外,绝大多数为水;B 型脱模剂还有 Benzaldehyde、 α -Methylstyrene、3-Methyl-3-phenyl-azetidine、Benzene, 1, 1'-(1-ethenyl-1),等气体。

2.5 接触角和表面张力测试结果

如果脱模剂稀释液在钢板表面上展开的接触角过大,会导致脱模剂的附着性较差,容易从模具表面脱离,有效成分保持较少。性能良好的脱模剂稀释喷涂在模具表面时,应保持较小的接触角。接触角越小,脱模剂与模具表面的相互作用越好,更容易黏附

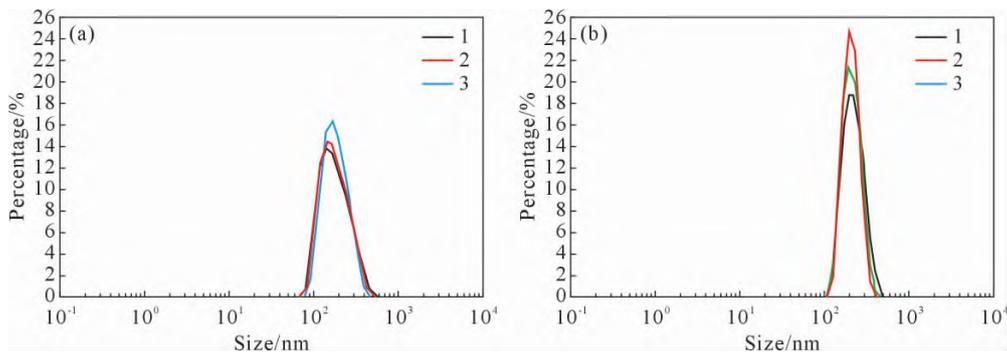


图 2 粒径测试结果:(a) A 型脱模剂;(b) B 型脱模剂
Fig.2 Particle size testing results: (a) type A release agent; (b) type B release agent

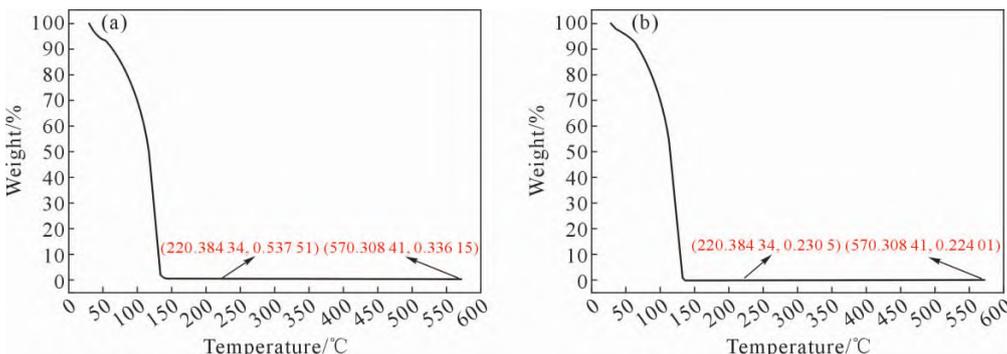


图 3 热重测试结果:(a) A 型脱模剂;(b) B 型脱模剂
Fig.3 Thermogravimetry testing results: (a) type A release agent; (b) type B release agent

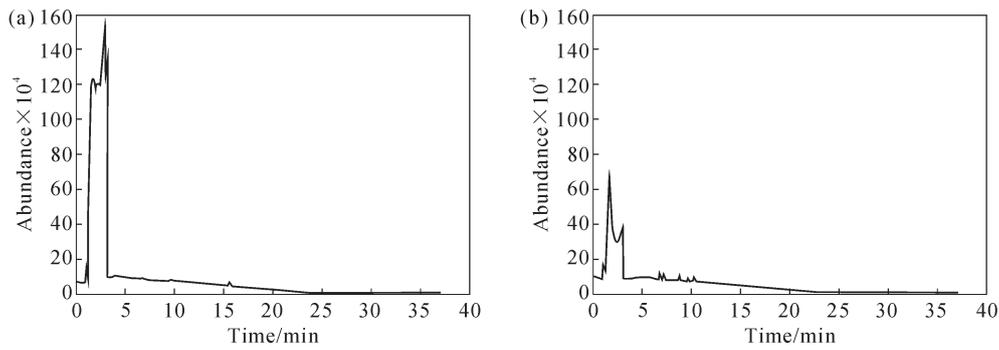


图 4 气相色谱测试结果:(a) A 型脱模剂;(b) B 型脱模剂
Fig.4 TGA testing results: (a) type A release agent; (b) type B release agent

表 8 A 型脱模剂质谱检测结果

Tab.8 Mass spectrometry detection results of the type A release agent

Peak#	RT	Proportion/%	ID	CAS#
1	0.970	0.71	Methane	000074-82-8
2	1.713	33.80	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
3	1.990	2.97	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
4	2.059	2.86	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
5	2.180	11.21	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
6	2.907	39.84	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
7	3.097	8.58	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
8	15.551	0.03	Methane	000074-82-8

表 9 B 型脱模剂质谱检测结果

Tab.9 Mass spectrometry detection results of the type B release agent

Peak#	RT	Proportion /%	ID	CAS#
1	1.004	3.16	Methane	000074-82-8
2	1.540	68.50	Ammonia	007664-41-7
			Water	007732-18-5
3	2.388	4.06	Methane	000074-82-8
4	2.890	23.21	Methane	000074-82-8
5	6.677	0.66	Benzaldehyde	000100-52-7
			α -Methylstyrene	000098-83-9
6	7.006	0.21	3-Methyl-3-phenyl-azetidide	005961-33-1
			Benzene,1,1'-(1-ethenyl-1,	061141-97-7
7	8.667	0.20	Methane	000074-82-8

在模具表面,从而保证脱模效果。脱模剂的接触角测试结果如图 5 所示。过高的表面张力会使脱模剂无法均匀涂布在模具表面,容易形成气泡或漏涂现象;表面张力越小的脱模剂,可以轻松地涂布在模具表面上,从而更好地润湿模具表面形成均匀的薄膜,降低脱模难度,同时保证了压铸件表面的平滑度和光洁度,清洗也更加方便。脱模剂的表面张力测试结果如图 6 所示。

由测试结果可知,A 型脱模剂接触角 3 次测

量的平均值为 100.57°,B 型脱模剂接触角 3 次测量的平均值为 98.43°;A 型脱模剂的表面张力为 41.62 mN/m,B 型脱模剂的表面张力为 36.90 mN/m。符合使用条件的水基脱模剂在稀释 90 倍后的接触角应该在 85°~105°之间,表面张力应该在 25~45 mN/m 之间,根据测试结果,两种脱模剂接触角与表面张力差别不大,均符合使用要求。

2.6 室温稳定性和剪切稳定性测试

将两种脱模剂放置 3 个月倒出,观察状态,如图 7a 和 d 所示,均未出现分层、漂油、沉积现象,说明两种脱模剂的室温储存稳定性良好。再观察两种脱模剂在 2 000 r/min 的 JJ-1A 型电动搅拌机下搅拌

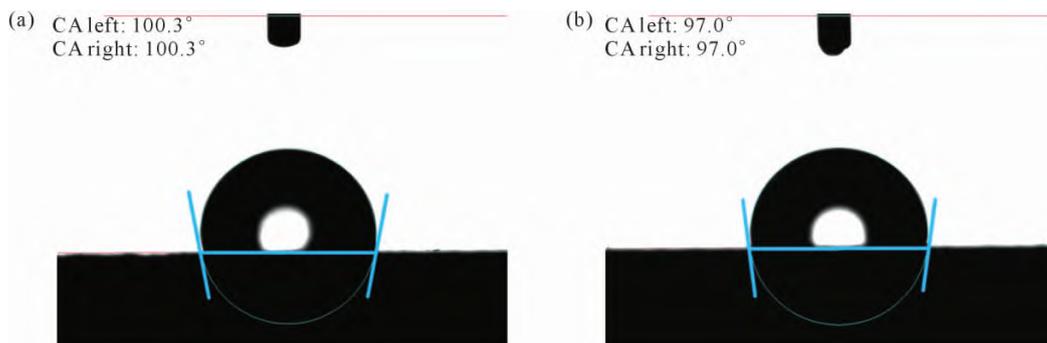


图 5 接触角测试结果:(a) A 型脱模剂;(b) B 型脱模剂
Fig.5 Contact angle testing results: (a) type A release agent; (b) type B release agent

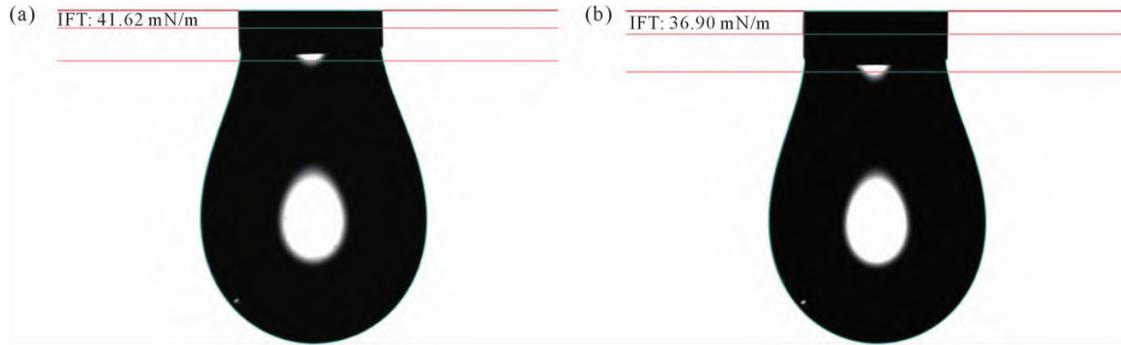


图 6 表面张力测试结果:(a) A 型脱模剂;(b) B 型脱模剂
Fig.6 Surface tension testing results: (a) type A release agent; (b) type B release agent

30 min 后的状态,如图 7c 和 f 所示,搅拌完成后两种脱模剂均未出现油水分离现象,也未有固态物质析出,说明其剪切稳定性良好。

3 结论

(1)A、B 型脱模剂的黏度分别为 2.10×10^{-3} 、 1.49×10^{-3} Pa·s,粒径分别为 180.83、215.30 nm,分散性分别为 0.148、0.129,接触角分别为 100.57° 、 98.43° ,表面张力分别为 41.62、36.90 mN/m,测试结果均较接近且在允许范围,可以满足使用要求。

(2)A、B 型脱模剂的室温稳定性测试结果均未出现分层、漂油、沉积现象,说明两种脱模剂的室温储存稳定性良好;剪切稳定性测试结果均未出现油

水分离现象,也未有固态物质析出,说明两种脱模剂的剪切稳定性良好。

(3)A 型脱模剂热重测试后的剩余量较多,挥发气体量较少;B 型脱模剂热重后的剩余量较少,挥发气体量较多。A 型脱模剂的挥发气体除含有少量 Methane 和 Ammonia 外,绝大多数为水;B 型脱模剂还有 Benzaldehyde、 α -Methylstyrene、3-Methyl-3-phenyl-azetidine、Benzene,1,1'-(1-ethenyl-1)等气体,气体种类更多。因此,A 型脱模剂较 B 型脱模剂的热稳定性好、脱模效果好、气体挥发种类及量少、不易产生气泡等。综合而言,A 型脱模剂的性能优于 B 型脱模剂。

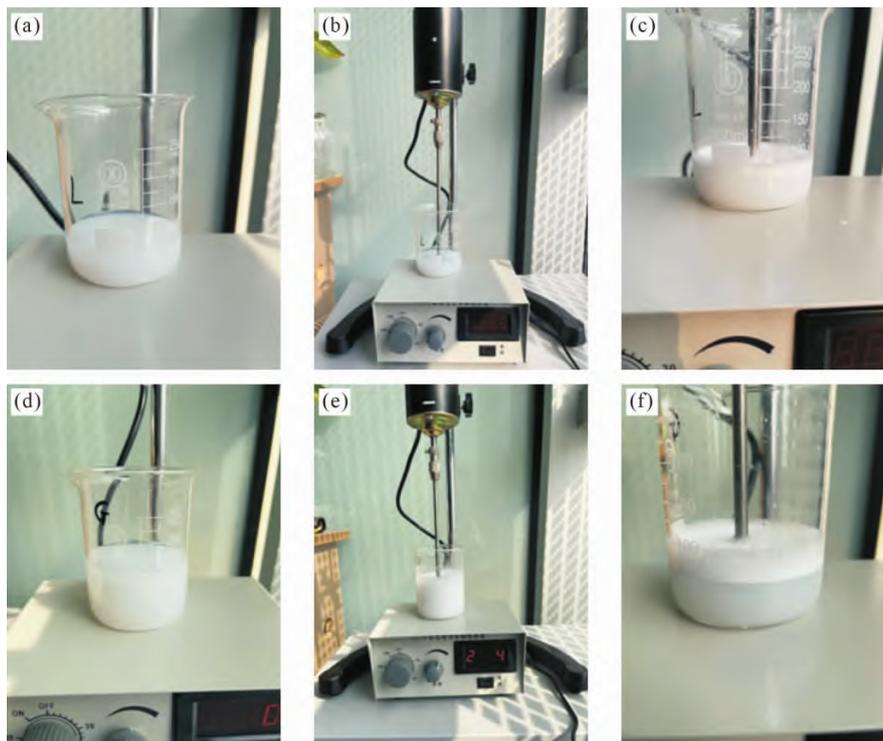


图 7 室温稳定性和剪切稳定性测试结果:(a) A 型脱模剂储存稳定性结果;(b, c) A 型脱模剂剪切稳定性测试结果;(d) B 型脱模剂储存稳定性结果;(e, f) B 型脱模剂剪切稳定性测试及结果

Fig.7 Room temperature stability and shear stability test results: (a) storage stability result of the type A release agent; (b, c) shear stability test and result of the type A release agent; (d) storage stability results of the type B release agent; (e, f) shear stability test and result of the type B release agent

参考文献:

- [1] 刘羽,段保华,陈光耀,张东,何文英,韩乔,张建祺,王世华,李重河. 压铸铝合金的发展历史和未来展望[J]. 材料导报, 2023, 37(S2): 348-357.
LIU Y, DUAN B H, CHEN G Y, ZHANG D, HE W Y, HAN Q, ZHANG J Q, WANG S H, LI C H. Development history and future prospects of die-casting aluminum alloys[J]. Materials Review, 2023, 37(S2): 348-357.
- [2] 吴国江,曹桂芝,江敏. 一种铝合金压铸蜡乳液脱模剂的研制[J]. 当代化工, 2014, 43(9): 1695-1697.
WU G J, CAO G Z, JIANG M. Development of an emulsion release agent for aluminum alloy die-casting wax[J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(9): 1695-1697.
- [3] SIMION H, FELICIA C, VASILE K. The analysis efficiency of the demulsion agent injected into aluminum molds[J]. Tribology International, 2023, 177: 107950.
- [4] 李震,李宁. 水基压铸脱模剂的研究进展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2017, 34(5): 67-74.
LI Z, LI N. Research progress of water-based die-casting release agents[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2017, 34(5): 67-74.
- [5] 夏春英. 提高铝合金泵体压铸件非加工面质量的措施[J]. 现代铸铁, 2012, 32(S2): 90-92.
XIA C Y. Measures to improve the non-machined surface quality of aluminum alloy pump body die-casting parts[J]. Modern Cast Iron, 2012, 32(S2): 90-92.
- [6] 陆艳红,陈哲. 脱模剂的研究及应用[J]. 硅谷, 2009(20): 148-149.
LU Y H, CHEN Z. Research and application of mold release agent [J]. Silicon Valley, 2009(20): 148-149.
- [7] 杨丽景,卫英慧,侯利锋,王朱恩,于斌,郭耀文,许并社. 脱模剂稀释用水对镁合金压铸件质量的影响[J]. 机械工程材料, 2007(11): 30-31, 46.
YANG L J, WEI Y H, HOU L F, WANG Z E, YU B, GUO Y W, XU B S. Effect of release agent dilution water on the quality of magnesium alloy die castings[J]. Mechanical Engineering Materials, 2007(11): 30-31, 46.
- [8] 修毓平. 压铸用水基脱模剂的选用方法[J]. 特种铸造及有色合金, 2002(S1): 91-92.
XIU Y P. Selection method of water-based mold release agent for die casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2002(S1): 91-92.
- [9] 庄铮,李珊. 压铸车间脱模剂的管理[J]. 铸造技术, 2011, 32(4): 585-587.
ZHUANG Z, LI S. Management of mold release agent in die casting workshop[J]. Foundry Technology, 2011, 32(4): 585-587.
- [10] LIU B, WEI Y, HOU L. Formation mechanism of discoloration on die-cast AZ91D components surface after chemical conversion[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2013, 22(1): 50-56.
- [11] 刘妹迪,刘遵建. 压铸件发黑的原因及预防措施[J]. 铸造工程, 2019, 43(3): 41-50.
LIU S D, LIU Z J. Causes and preventive measures of blackening of die castings[J]. Foundry Engineering, 2019, 43(3): 41-50.
- [12] 丁涛,金琳,陶定. 压铸铝合金表层晶粒细化的方法研究[J]. 铸造技术, 2010, 31(10): 1314-1316.
DING T, JIN L, TAO D. Study on the method of surface grain refinement of die-casting aluminum alloy[J]. Foundry Technology, 2010, 31(10): 1314-1316.
- [13] 邹海峰,万里,向立,罗吉荣. 铝合金压铸用粉状脱模剂的开发与应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2007(11): 850-852, 817.
ZOU H F, WAN L, XIANG L, LUO J R. Development and application of powder release agent for aluminum alloy die casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2007(11): 850-852, 817.
- [14] 付喜龙,钱高杰,金容,李凯,沈思雨,董身亮. 压铸铝合金缸体与喷缸缸套的结合性能分析[J]. 铸造技术, 2021, 42(6): 506-508, 512.
FU X L, QIAN G J, JIN R, LI K, SHEN S Y, TONG S L. Analysis of the bonding performance between die-cast aluminum alloy cylinder block and spray-aluminum cylinder liner [J]. Foundry Technology, 2021, 42(6): 506-508, 512.
- [15] 张正贵,陈昊男,朱万波,肖铁. 脱模剂在铝合金压铸中的应用与研究进展[J]. 应用化工, 2019, 48(8): 1990-1993.
ZHANG Z G, CHEN H N, ZHU W B, XIAO T. Application and research progress of mold release agent in aluminum alloy die casting[J]. Applied Chemical Industry, 2019, 48(8): 1990-1993.
- [16] 罗婷瑞,樊振中,胡惠翔,王俊虎,田艳中. 新能源汽车用一体化压铸铝合金研究现状与发展趋势[J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(11): 1472-1478.
LUO T R, FAN Z Z, HU H X, WANG J H, TIAN Y Z. Research status and development trend of integrated die-casting aluminum alloys for new energy vehicles[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(11): 1472-1478.
- [17] 文家新,刘克建,冉青山. 废机油水基脱模剂的制备及其性能研究[J]. 精细与专用化学品, 2014, 22(8): 39-42.
WEN J X, LIU K J, RAN Q S. Preparation and properties of waste oil-water-based mold release agent[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2014, 22(8): 39-42.
- [18] 孙建才,孙汇洋,张宜生,耿会程,张雪琴,张方. A356 铝合金耐张线夹真空压铸工艺及应用[J]. 广东电力, 2023, 36(3): 92-98.
SUN J C, SUN H Y, ZHANG Y S, GENG H C, ZHANG X Q, ZHANG F. Vacuum die-casting process and application of A356 aluminum alloy tension-resistant wire clamp[J]. Guangdong Electric Power, 2023, 36(3): 92-98.
- [19] 黄宇剑. 水基压铸脱模剂国内现状[J]. 广东化工, 2016, 43(8): 96, 106.
HUANG Y J. Domestic status of water-based die-casting release agents[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(8): 96, 106.
- [20] 赵敏. 水性二甲硅油乳液脱模剂制备工艺的研究[D]. 太原: 中北大学, 2023.
ZHAO M. Study on preparation process of waterborne dimethyl silicone oil emulsion release agent[D]. Taiyuan: North University of China, 2023.
- [21] 胡皓. 耐高温压铸脱模剂评测及应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2012, 32(9): 816-817.
HU H. Evaluation and application of high temperature resistant die casting release agent[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2012, 32(9): 816-817.
- [22] 陈财康,李磊. 铝合金压铸高效水基脱模剂的研制[J]. 特种铸造

- 及有色合金, 2010, 30(9): 840-842, 781.
- CHEN C K, LI L. Development of high-efficiency water-based mold release agent for aluminum alloy die-casting[J]. *Special Casting & Nonferrous Alloys*, 2010, 30(9): 840-842, 781.
- [23] 祝辉. 铝合金压铸用水基乳液涂料的开发研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- ZHU H. Development and research of water-based emulsion coatings for aluminum alloy die casting [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [24] 文家新, 李应, 冉青山. 水基脱模剂制备及性能检测的综合实训探索[J]. *实验科学与技术*, 2015, 13(5): 156-158, 178.
- WEN J X, LI Y, RAN Q S. Comprehensive training exploration on the preparation and performance testing of water-based mold release agents[J]. *Experimental Science and Technology*, 2015, 13(5): 156-158, 178.
- [25] 赵秋生. 水基型有机硅脱模剂及含氟聚丙烯酸酯乳液的制备与性能研究[D]. 济南: 山东大学, 2021.
- ZHAO Q S. Preparation and properties of water-based silicone release agent and fluorine-containing polyacrylate emulsion [D]. Jinan: Shandong University, 2021.
- [26] RUNGSIMA Y, WALAIPOORN P, CHATCHALIDA B. Rotomoulding release agent preparation for auto part fabrications[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2022, 52: 2365-2371.

(责任编辑: 李亚敏)