

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2024.08.015

铝制品加工重油污分油水基清洗剂研究及生产应用

张明阳¹, 冯震^{2,3,4}, 耿缪元^{2,3}, 刘锋^{1,4*}, 李鹏飞^{2,3}, 邱信欣^{2,3}, 李少华^{2,3}

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 苏州科锐德节能环境科技有限公司, 江苏 苏州 215011; 3. 江西嘉梦环保科技有限公司, 江西 景德镇 333314; 4. 城市生活污水资源化利用技术国家地方联合工程实验室, 江苏 苏州 215009)

摘要: 大量铝制品在拉伸成型过程中会涂抹拉伸油以防止产品拉伤、断裂, 为清洗其表面残留的重油污, 需采用含有大量表面活性剂的清洗剂。为解决传统铝制品清洗中清洗难度大、污染排放多的问题, 研究了一款分油水基清洗剂。研究表明: 该分油水基清洗剂属于低泡型清洗剂, 在清洗温度 50 °C, 清洗时间 5 min, 清洗剂浓度 5% 的条件下清洗效果最优, 除油率可达 99% 以上, 各项性能可满足行业标准 JB/T 4323—2019《水基金属清洗剂》中的要求。实际生产应用结果表明, 分油水基清洗剂的清洗量超过常规水基清洗剂的 32 倍, 每清洗一百万个电池壳, 能减少浓水排放量 116.25 t、危废量 16.25 t, 对企业增效和节能减排具有深远意义。

关键词: 水基清洗剂; 铝制品; 重油污; 除油; 油回用再生; 节能减排

中图分类号: TQ 649.6

文献标识码: A

Research and application on heavy oil-separated water-based cleaning agent for aluminum products

Zhang Mingyang¹, Feng Zhen^{2,3,4}, Geng Miaoyuan^{2,3}, Liu Feng^{1,4*}, Li Pengfei^{2,3},
Qiu Xinxin^{2,3}, Li Shaohua^{2,3}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. Soochow Kohlentech Energy Saving Environment Technology Co., Ltd., Suzhou 215011, China; 3. Jiangxi Jiameng Environmental Protection Technology Co., Ltd., Jingdezhen 333314, China; 4. Municipal Wastewater Utilization Technology National Local Joint Engineering Laboratory, Suzhou 215009, China)

Abstract: A large number of aluminum products will be coated with stretching oil in the process of stretching molding to prevent product from being strained and broken. In order to clean the heavy oil residue on the surface, it is necessary to use a cleaning agent containing a large number of surfactants. To solve the problems of difficult cleaning and high pollution emissions in traditional aluminum product cleaning, an oil-separated water-based cleaning agent was studied. The results show that the oil-separated water-based cleaning agent is a low foam type cleaning agent, and the cleaning effect is the best under the conditions of cleaning temperature of 50 °C, cleaning time of 5 min and cleaning agent concentration of 5%, the oil removal rate can reach over 99%. The performance meets the

收稿日期: 2023-10-07

修回日期: 2023-11-05

作者简介: 张明阳(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为废水低碳处理及资源回收, email: 919275476@qq.com

*通信作者: 刘锋(1974—), email: 278834585@qq.com

基金项目: 江苏省高校自然科学基金面上项目(21KJB610016); 苏州市科学技术计划项目(SS202114, ZXL2022066, RC2022244)

requirements of water-based metal cleanser industry standard of JB/T 4323—2019. The actual application results show that the cleaning amount of oil-separated water-based cleaning agent exceeds 32 times that of conventional water-based cleaning agent, and cleaning one million battery shells can reduce the discharge of concentrated water by 116.25 t and hazardous waste volume by 16.25 t, which has profound significance for enterprise efficiency improvement and energy conservation and emission reduction.

Keywords: water-based cleaning agent; aluminium product; heavy oil; oil removal; reuse and regeneration of stretch oil; energy conservation and emissions reduction

铝材由于其具有密度低、耐腐蚀性佳、塑性好等优点^[1-3],被广泛应用于国防工业、航空航天、汽车制造等各大高新技术产业,是当代科技产业的重要基础材料^[4-6]。但铝较软,相比于铁、铜等金属,其耐磨性较差^[7],在加工过程中容易产生拉伤、断裂等问题^[8]。为避免铝制品在生产过程中受到损伤,往往需要配合使用具有良好润滑性能的冲压拉伸油^[9],这就导致在经过冲压、拉伸等加工后,铝制品表面沾上许多的含油污染物,形成了重油污^[10]。而一般的工业清洗剂难以清洗,还有可能造成铝制品表面腐蚀情况的发生^[11-12]。因此选用合适的清洗剂对铝制品表面进行清洗是一道不可忽视的工序^[13-15]。

金属加工业中的清洗工艺主要分为水清洗、油清洗、酸清洗和碱清洗等^[16-17]。铝制品由于其洁净度要求高、产量大等特点,大多采用清洗效果更优、速度更快的碱清洗工艺^[18]。目前的碱清洗工艺主要是利用碱性的水基型清洗剂与油脂发生反应从而去除表面油污,清洗后需要用纯水漂洗。其完整工艺一般为:水基清洗剂清洗→漂洗→烘干。普通铝制品的表面除油清洗剂一般由多种表面活性剂、硅酸钠、偏硅酸钠和磷酸三钠等多种添加剂组成^[19],但这些溶液碱性都较高,皂化能力强,对铝的腐蚀性较大^[20]。同时,由于一部分企业金属加工生产中所用油运动粘度高,油层厚,在金属制品表面形成重油污,清洗难度大,一般需很高的碱值,所以传统水基清洗剂的pH值高。目前市面所售的传统水基清洗剂主要成分是阴离子型表面活性剂,清洗原理主要是化学脱脂,将清洗剂配制成一定浓度的工作液,利用清洗剂中的表面活性剂、乳化剂、渗透剂等和油脂起化学反应^[21-22],降低油污的表面张力,发生乳化和皂化作用从而达到除油的效果^[23-25]。

为解决传统水基清洗剂消耗量大、产污多、废水

难处理等问题^[26],本文通过实验及实际应用,研究了一款分油水基清洗剂的性能。该清洗剂的特点在于可以实现对铝制品的清洗量成倍增加,且在清洗时不乳化皂化,将油品从水中分离出来,同时将油品回收利用,因此将其称为分油水基清洗剂。在同等条件下与常规水基清洗剂进行对比,旨在研究分油水基清洗剂在铝制品清洗应用中的优越性。

1 分油水基清洗剂除油原理

分油水基清洗剂的组成(按重量百分比)为:脂肪醇聚氧乙烯醚(10%~20%)、脂肪胺聚氧乙烯醚(5%~10%)、聚氧乙烯-聚氧丙烯嵌段聚醚(5%~10%)、季胺盐表面活性剂(3%~5%)、多种助洗分散剂(柠檬酸钠和聚天冬氨酸钠,5%~15%)、腐蚀抑制剂(硅酸钠,1%~3%)、pH调节剂(三乙醇胺或单乙醇胺,3%~6%),余量为去离子水。该清洗剂是一种弱碱性非离子型清洗剂,对人体及铝制品的安全性更强。

分油水基清洗剂的分油原理则是利用表面活性剂与渗透剂的作用,将油污从工件表面剥离(如图1)。

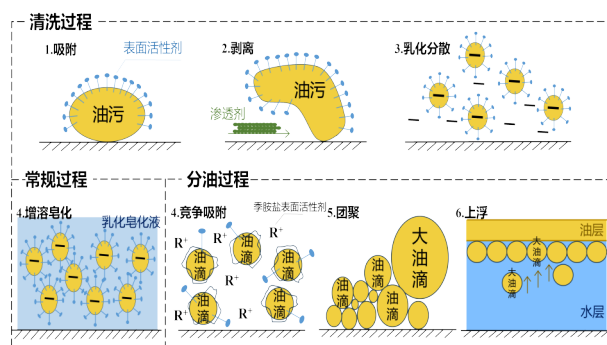


图1 清洗剂清洗原理对比

Fig.1 Comparison of cleaning principle of cleaning agents

通过表面活性剂和分散剂的作用,油污形成微小的油滴乳化分散在水中。随后清洗剂中的季胺盐表面活性剂取代了油滴表面其余的表面活性剂,油滴被反乳化从水中分离出来,而其余表面活性剂则从油滴表面分离进入水中循环使用。不带电荷的小油滴逐渐团聚成大油滴,大油滴上浮至液面,从而实现油水分离,且能进一步脱去油中水分和黑色极细铝粉,使油变澄清。常规水基清洗剂和分油水基清洗剂的清洗原理对比如表1所示。

表1 清洗剂清洗原理分析

Tab.1 Analysis of cleaning principle of cleaning agents

清洗过程	常规水基清洗剂	分油水基清洗剂
1	吸附:清洗剂中的表面活性剂吸附在油污表面	
2	剥离:油污在表面活性剂和渗透剂的作用下附着力削弱,从工件表面剥离	
3	乳化分散:在表面活性剂和分散剂作用下,油污形成微小油滴乳化分散在水中,油滴表面带负电荷	
4	增溶皂化:随着乳化程度的加深,油滴在碱性条件下发生乳化皂化反应,最终形成高浓度的乳化皂化液	竞争吸附:在特殊材料作用下,油滴表面的表面活性剂被特殊材料取代,油滴不能被乳化,表面不带电荷
5	—	团聚:小油滴团聚变成大油滴,表面活性剂进入水中循环利用
6	—	上浮:大油滴上浮至液面,形成油层,达到油水分离的最终效果

2 清洗剂性能表征

为了解分油水基清洗剂性能,保证其合格应用于实际生产,参考行业标准《水基金属清洗剂》JB/T 4323—2019,对清洗剂进行性能表征。

2.1 材料与仪器

实验材料:2A12硬铝合金试片;JMCL581-D型分油水基清洗剂原液(苏州科锐德节能环保科技有限公司);5018-A型市售常规水基清洗剂原液(东莞锦悦新材料科技有限公司);无水乙醇:分析纯;拉伸油:取自江苏某新能源汽车铝电池壳加工车间,为模拟实际油污,拉伸油取回后敞口放置在实验室中使其混入灰尘和杂质,得到实验所用油污。

实验仪器:101-00B电热鼓风干燥箱(明途机械设备有限公司);XZ-10DTD超声波清洗机(宁波新

芝生物科技有限公司);HJ-6A多头磁力搅拌器(上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司);FA2204N电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);HH-2恒温水浴锅(拓赫机电公司);Pure台式扫描电子显微镜(荷兰Phenom科学仪器公司,SEM);Eutech pH150便携式pH计(美国Thermo仪器公司);HCA-101标准COD消解器(泰州华晨仪器公司);CleanoSpector RFU(Relative Fluorescence Units,相对荧光强度)表面清洁度测量仪(德国析塔SITA公司)。

2.2 试片的处理

将2A12硬铝合金加工成50 mm×25 mm×3 mm大小的试片,将试片用砂纸打磨光亮。打磨后的试片先后用脱脂棉在无水乙醇和热无水乙醇(55~60℃)中擦洗,用热风吹干并放入干燥器中冷却,称重精确至0.1 mg,质量记为 m_1 ,备用。在试片一面均匀涂抹油污,油污的涂覆量控制在110~120 mg之间。置于(40±2)℃干燥箱中干燥30 min后取出,称量精确至0.1 mg,质量记为 m_2 。

2.3 清洗剂性能表征方法

将两种清洗剂分别按3%的浓度配制成工作液,对处理后的试片进行漂洗性能、消泡性能、高低温稳定性、腐蚀性等性能表征实验,其中消泡性能和腐蚀性各进行3次平行实验,实验结果取各组实验平均值。同时研究清洗剂除油能力的最佳清洗参数,以清洗剂的除油率作为评价指标,研究了不同清洗时间、清洗温度、清洗剂浓度3个单因素水平下分油清洗剂的除油能力,各组研究分别进行5次平行实验,实验结果取各组实验平均值。(将涂抹过油污并烘干后的试片于配置好的清洗剂中超声清洗后,用(65±2)℃的蒸馏水摆洗10次。取出试片后置于(70±2)℃的干燥箱中干燥30 min,冷却至室温后称重,称量精确至0.1 mg,质量记为 m_3 。使用公式(1)计算除油率。

$$\eta = (m_2 - m_3) / (m_2 - m_1) \times 100 \quad (1)$$

式中: η 表示除油率,%; m_1 为试片涂油前的质量,g; m_2 为试片涂油干燥后的质量,g; m_3 为试片清洗后的质量,g。

2.4 清洗剂性能对比

如图2(a)所示是常规和分油水基清洗剂在摇动完毕后静置10 min内的泡沫高度情况。从图中可以看出,常规清洗剂泡沫高度在5 min后基本稳

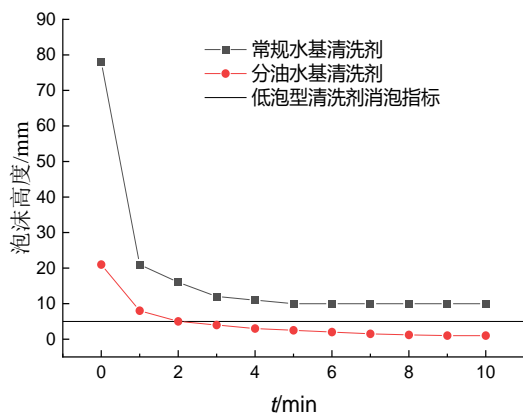
定在10 mm不变,说明常规清洗剂消泡性能一般。而分油清洗剂在2 min以后泡沫高度已经降至到了5 mm,满足行业标准JB/T 4323—2019中的清洗剂10 min内起泡高度 ≤ 5 mm的要求,说明该清洗剂消泡性能良好,属于低泡型清洗剂。

图2(b)是两清洗剂分别在清洗剂浓度5%、超声清洗时间10 min,不同清洗温度下的清洗试片的除油率。由图中可以看出,当清洗温度低于50℃时,两种清洗剂的清洗效果均不理想。常规清洗剂在清洗温度60℃时除油率最高,达到99%以上。分油清洗剂除油率则在50℃时即可达到顶峰。当温度继续升高时除油率均略微降低。因此常规清洗剂的最佳清洗温度在60℃,而分油清洗剂的最佳清洗

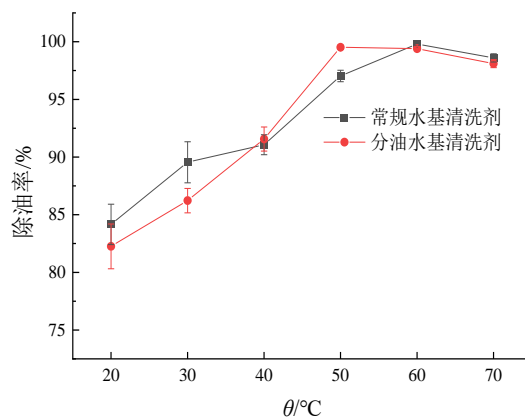
温度在实际生产中可以设置在50℃左右。

图2(c)是两清洗剂在清洗剂浓度5%、清洗温度60℃,不同超声清洗时间下的除油率。随着清洗时间的增加,清洗剂的除油率得到了明显的提升。5 min以后,两清洗剂的除油率趋于平缓,并且除油率均已达到99%以上。从生产效率和节能的角度考虑,两清洗剂的最佳清洗时间选定为5 min较为合适。

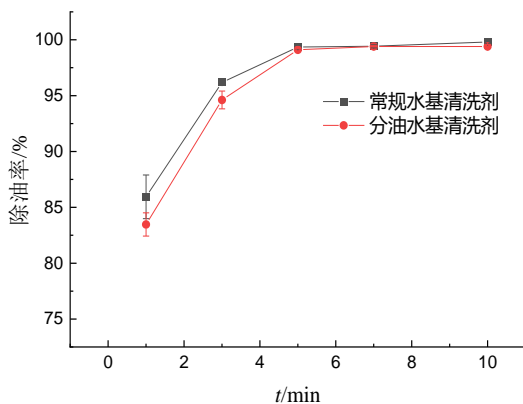
图2(d)是两清洗剂在清洗温度60℃、超声清洗时间5 min,不同清洗剂浓度下的除油率。可以看出清洗剂浓度对除油效果的影响较为明显,除油效果随着清洗剂浓度的提高而稳步提升。在清洗剂浓度达到5%时,两清洗剂除油率可达99%以上。



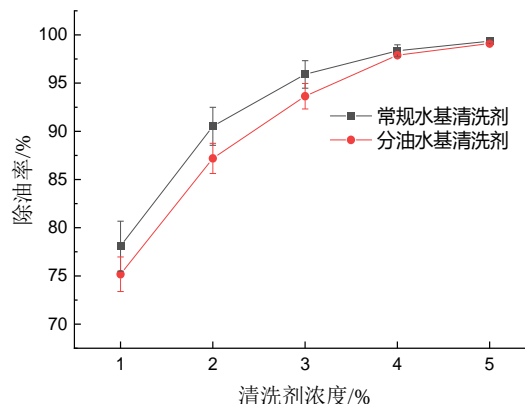
(a) 消泡性能对比



(b) 不同温度下的除油率



(c) 不同时间下的除油率



(d) 不同浓度下的除油率

图2 常规和分油水基清洗剂的消泡性能和除油能力对比

Fig.2 Comparison of defoaming performance and oil removal ability between conventional and oil-separated water-based cleaning agents

如图3所示是2A12铝合金试片在分别用常规清洗剂和分油清洗剂在进行腐蚀性实验前后表面放大500倍的SEM样貌。从图中可以观测到,2A12铝

合金在常规和分油清洗剂中的腐蚀均较为轻微,无明显凹坑,孔洞,但表面有轻度均匀的变色。表2是两清洗剂的基本性能分析对比。

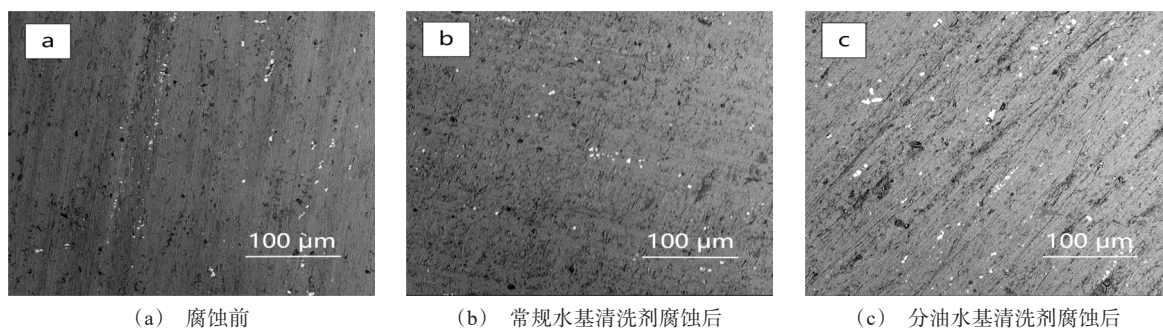


图3 2A12铝合金腐蚀形貌的SEM图

Fig.3 SEM of corrosion morphology of 2A12 aluminum alloy

表2 清洗剂基本性能分析对比

Tab.2 Analysis of basic properties of cleaning agent

性能指标	常规水基清洗剂	分油水基清洗剂
体系	阴离子	非离子
pH(5%浓度)	13.0	9.2
COD(原液)	399000	405000
漂洗性能	有白色残留物	无可见清洗剂残留物
消泡性能	—	低泡型
高、低温稳定性	均匀,不分层,无沉淀或析出物	均匀,不分层,无沉淀或析出物
腐蚀性	腐蚀量:1.2 mg; 腐蚀等级:1级,表面轻度均匀变色	腐蚀量:1.6 mg; 腐蚀等级:1级,表面轻度均匀变色

3 实际生产应用

为研究分油水基清洗剂实际使用效能,在江苏某锂电池壳生产企业(实验用拉伸油提供方)进行了应用研究,包括与常规清洗剂在清洗效果、清洗剂使用寿命、清洗剂废槽液有机物含量(以COD计)、清洗废水中油品分离回收等方面的对比分析。

3.1 生产应用工况

本次生产应用研究在江苏一家新能源汽车电池壳生产厂内清洗线上进行,周期为32 d×24 h连续生产性不间断测试。本次研究中清洗的产品为厂内生产的多种规格的3系铝制方形电池壳。厂内完整电池壳生产工艺如下:卷料落料→拉伸成型→清洗烘干→质量检测。

现有清洗流程为:先进行常规水基清洗剂清洗,在超声波清洗槽内加入5%清洗剂,加热到55~60℃,清洗完后再进入纯水漂洗槽漂洗。超声波清

洗槽产生的高浓度乳化皂化液废水定期排放至污水站(一般1 d排放2次),纯水漂洗槽产生的漂洗废水连续排放至厂内污水站。研究中将现有清洗线的清洗剂替换为分油水基清洗剂,槽液加热至48~53℃,后续工艺流程不变,清洗流程如图4所示。

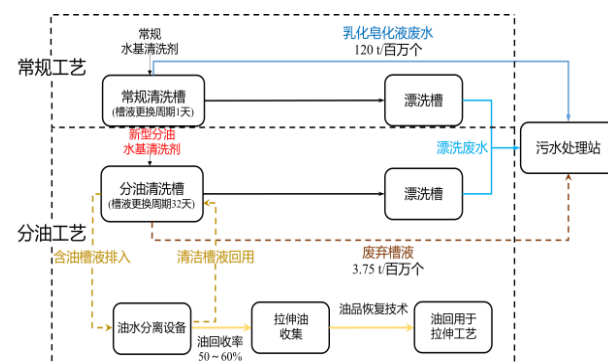


图4 常规工艺和分油工艺清洗电池壳过程对比

Fig.4 Comparison of conventional process and oil-separated process for cleaning battery shell

3.2 清洗寿命及效果

清洗寿命主要是指清洗槽液的更换周期,清洗效果的评价主要指标为清洁度(RFU)。厂内电池壳清洗要求清洁度指标小于23,故当清洗后的电池壳清洁度接近或高于23,即视为清洗剂槽液需更换,此时电池壳清洗总数即表征槽液的清洗寿命。在清洗测试中进行高频清洁度检测,使用分油水基清洗剂每清洗2800个(50框/3 h)电池壳进行一次清洁度检测,包含电池壳大面、底部、内腔三个点位的清洁度检测,并节选前65000个清洗数据。具体的清洁度结果如图5所示。

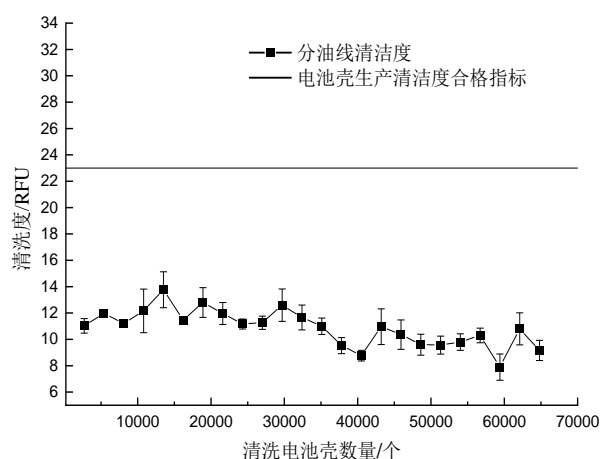


图5 分油清洗线产品清洁度

Fig.5 Product cleanliness of oil-separated cleaning line

研究表明,常规清洗槽清洗后的电池壳清洁度一般能维持在14左右,随着清洗数量的增加,在清洗了约28000个电池壳后,电池壳清洁度已无法满足厂内清洗要求。而分油清洗槽在清洗了约65000个电池壳后,清洁度仍能维持在10左右,远小于厂内要求的清洁度23。在总计清洗了约896000个电池壳后,清洁度才超过厂内要求。这是因为分油清洗槽内清洗拉伸油不发生乳化皂化,油被分离收集,槽液浓度一直较低,这个过程中按需补充缺失的清洗剂即可,槽液可以连续使用数天。而常规清洗槽的槽液会因为油的乳化皂化导致浓度不断增加,当达到一定浓度后即使添加清洗剂也无效果,因此槽液寿命较低,在清洗28000个电池壳后需排放更换。

清洗槽在清洗到其寿命后,就需更换清洗槽内槽液形成的浓水排放至厂内废水处理站。根据实测,常规清洗槽在达到清洗极限后,所排放的槽液

COD在180000~250000左右,为高浓度的乳化皂化液浓水,在预处理破乳过程中,每吨浓水会产生约17%需作为危废委外处置的油泥。而分油清洗槽槽液的COD始终维持在26000~30000左右,相比常规清洗槽废水中浓水排放能够降低90%以上,并直接作为危废委外处置,大大降低了废水产生量和污染浓度。两种槽液的COD浓度对比如图6所示。

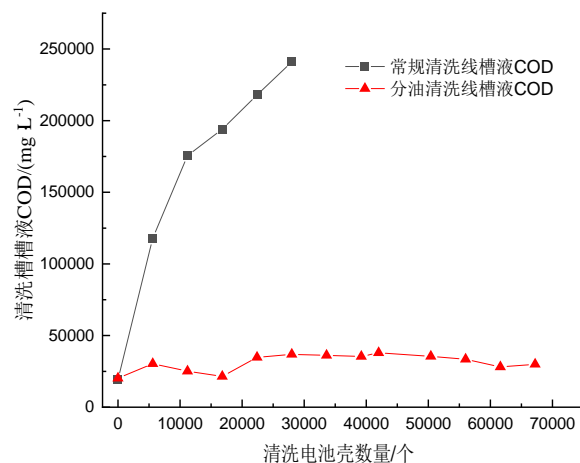


图6 槽液COD浓度对比

Fig.6 Comparison of COD concentration in tank

3.3 油回用研究

与传统的皂化清洗不同,分油水基清洗剂可将油污分离至槽液表面,经清洗机槽液表面推流水的作用在油水分离设备内收集。因此,对分离出的油经净化和油品恢复处理后对其性能参数进行测试并回用于前端拉伸生产线,研究油的回用可行性。

净化和油品恢复步骤为:(1)通过投加复合添加剂SP1后再沉淀,对油进行净化处理,去除油中的水分及极细的铝粉、积碳等杂质;(2)对净化后的油投加复合添加剂AD1,恢复油中因拉伸和清洗时缺失的添加剂成分。

回用性能研究中,发现清洗后刚分离出的油为黑色,这是由于油污中含有大量拉伸残留的极细铝粉和积碳杂质。因这些杂质极细,无法自然沉淀分离,也无法过滤分离,在投加了油品添加剂SP1后杂质可快速沉淀,水、油、粉末三相能够较好分离,再生后的油恢复新油的颜色(黄色)及透明度(回收率可达50%~60%)。

如图7所示是当清洗暂停时(清洗了28000个电池壳后),分别取两清洗线的槽液,并将分油槽槽液进行油品再生处理后进行对比。可明显看出常规清

洗槽液发白而浓稠,油含量高,而分油清洗槽液清澈,油析出并浮于水面。



图7 清洗槽液外观对比

Fig.7 Appearance comparison of cleaning tank liquid

当清洗了28000个电池壳后,共收集得约700 L油污,在进行油品恢复操作后,回收得400 L可用于拉伸的油品。将油品回用于该厂前端的拉伸产线,经测试能够正常连续拉伸无异常,直至油消耗完毕,共拉伸了13000个电池壳。将清洗回收的油、回收后油品恢复后的油与厂内的新油做性能比对,具体比对结果如表3所示。

表3 油性能比对

Tab.3 Comparison of oil performance

油品种类	含水量/ (0.001%)	运动黏度/ (mm ² ·s ⁻¹)	最大无卡咬 负荷 PB/kg	长磨的磨 斑直径/mm
新采购 的油	90~100	150~160	110~130	0.32~0.38
清洗刚分 离的油	2400~ 2800	—	100~120	0.55~0.60
油品恢复 后的油	160~180	140~160	100~130	0.28~0.36

拉伸油使用需考虑润滑性、冷却性、可清洗性等多种因素^[27]。由上表可以看出,清洗刚分离出的油水比较大,但最大无卡咬负荷PB、长磨的磨斑直径和新油性能相似,这说明经分油水基清洗剂分离出的油,油品性质并未遭到破坏,仍可回用。而经油品恢复后的油水分值略大于新采购的油;运动粘度、最大无卡咬负荷PB和长磨的磨斑直径均与新采购的油性能相当。

3.4 经济概算与减排效益分析

针对此次分油水基清洗剂的应用,对其进行经

济概算及减排效益分析。通过经济概算分析出该分油水基清洗剂给厂内带来的经济价值,并从不同角度研究分析分油水基清洗剂在清洗电池壳中的优势及其对于当下碳减排及清洁生产的环境效益。

本次研究以每生产100万个电池壳为标准,对采用分油水基清洗剂前后的工艺进行减排效益和经济概算分析。分析结果如表4所示。

表4 每生产100万个电池壳的减排效益和经济概算

Tab.4 Emission reduction benefit and economic estimate of per 1 million battery shells

项目	常规清洗 剂	分油清 洗剂	污染/成本减 少量
废水浓水排放量/t	120	3.75	-96.87%
COD排放量/kg	28800	112.50	-99.61%
危废产生量/t	20.00	3.75	-81.25%
清洗剂使用成本/万元	6.70	8.70	+29.85%
拉伸油使用成本/万元	8.00	4.80	-40.00%
浓水混凝破乳费用/万元	0.70	0	-100.00%
危废处理费用/万元	4.00	0.75	-81.25%
总计处理成本/万元	19.40	14.25	-26.55%

由上表可得,分油水基清洗剂的使用使清洗剂使用成本增加了约29%,但由于其能够在清洗中将超过一半的油污分离回收,厂内改用分油水基清洗剂后对于拉伸油的使用成本可大幅下降,由8.0万元/百万个降至4.8万元/百万个。同时,废水量及浓度的降低,不仅大幅减少了污染产生量,也降低了废水中浓水破乳的药剂费用及危废处理费用。

综上分析,采用分油清洗剂后,厂内每生产100万个电池壳,可节约综合生产成本5.15万元,降低危废产生量16.25 t,对企业增效和减排具有重大意义。

4 结论

(1)通过清洗剂性能表征实验,分油水基清洗剂为低泡型清洗剂,其最佳清洗时间为5 min,清洗温度50℃,清洗剂浓度5%,除油率可达99%以上。相比常规水基清洗剂60℃的最佳清洗温度,分油水基清洗剂可以在更低的清洗温度下达到理想除油效果。腐蚀性、漂洗性能等其他性能指标均符合行业标准《水基金属清洗剂》JB/T 4323—2019的要求。

(2)经过实际应用研究,分油水基清洗剂能够在满足产品清洁度的同时延长清洗槽液寿命,分油槽

的清洗量是常规槽的32倍。清洗过程中的油污可以自动分离,不仅降低了清洗过程中废水的产生量,废水浓度也大幅下降,大大降低了后续废水的处理难度。

(3)分油槽中清洗分离的拉伸油可以循环利用,回收率超过50%。油品恢复后的油,油品质量好,与新采购的油相当,且可正常回用于前端拉伸生产。

(4)从经济概算的角度分析,采用分油水基清洗剂对清洗工艺改进可大幅降低生产成本,每清洗100万个电池壳可节约成本5.15万元;而从减排的角度考虑,分油清洗的浓水排放量和危废产生量分别减少了96.87%和81.25%,达到了很好的节能减排效应,对企业的清洁生产改革具有重要意义。

参考文献

- [1] 熊柏青, 闫宏伟, 张永安, 等. 我国航空铝合金产业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(1): 88-95.
- [2] 申依伦, 冯光, 邵豪杰, 等. 镁/铝复合薄带轧制成形工艺研究[J]. 塑性工程学报, 2023, 30(8): 92-99.
- [3] Dong F, Huang S Q, Yi Y P, et al. Enhanced deep drawing formability and deformation mechanism of aluminum alloy at cryogenic temperature[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2023, 968: 171992.
- [4] 房洪杰, 刘慧, 孙杰, 等. 5×××系铝合金研究现状及发展趋势[J]. 材料导报, 2023, 37(21): 211-220.
- [5] 庞嘉尧, 张萃, 程伟. 铝合金疲劳性能研究进展[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(6): 717-726.
- [6] Yao E Z, Zhang H J, Ma K, et al. Effect of deep cryogenic treatment on microstructures and performances of aluminum alloys: A review[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2023, 26: 3661-3675.
- [7] 高虹, 王超, 姜波, 等. TiO_2 -PTFE对6063铝合金微弧氧化膜层的影响[J]. 材料保护, 2023, 56(6): 128-136.
- [8] Yan P, Wang Y B, Jin X L, et al. Effect of cutting fluid on high strain rate dynamic mechanical property and cutting performance of nickel based superalloy[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2022, 17: 1146-1158.
- [9] 韩钊, 孙建林, 唐华杰, 等. 铝材轧制油摩擦学性能的分子动力学模拟与实验研究[J]. 中国有色金属学报, 2022, 32(5): 1342-1350.
- [10] 严卫才, 王帅, 刘昌明, 等. 新型铝合金脱脂剂工艺试验探究[J]. 有色金属加工, 2021, 50(3): 56-58.
- [11] 刘万青, 何园. 一种无磷无铬无氮的铝合金除油酸洗除灰技术研究[J]. 材料保护, 2020, 53(S1): 26-29.
- [12] 李英朋, 张于涛, 姜春泉, 等. 2A12铝合金水基切削液的缓蚀和润湿性能研究[J]. 材料保护, 2023, 56(9): 22-29, 38.
- [13] 季伟, 孟繁东, 潘科宇, 等. 铝合金表面油污清洗剂的制备及其腐蚀性研究[J]. 电镀与精饰, 2021, 43(2): 38-43.
- [14] 盘茂东, 陈喜良, 范宏亮. 水性高效增光防锈金属清洗剂的研制[J]. 电镀与涂饰, 2019, 38(5): 224-228.
- [15] Zang J. The Preparation and test of green water-based metal cleaning agent[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1015: 312-315.
- [16] 孔德刚. 铝板带清洗工艺对表面质量的影响[J]. 海峡科技与产业, 2018(4): 79-80.
- [17] 张冠军, 胡志达, 石磊, 等. 铝带材清洗工艺探讨与相关参数确定[J]. 锻压装备与制造技术, 2019, 54(3): 91-94.
- [18] 窦忠友. 铝板带碱清洗机组设备配置及技术难点分析[J]. 有色金属加工, 2022, 51(3): 56-59, 67.
- [19] 古蒙蒙, 蔡卫权. 高效绿色多功能水基清洗剂的研制[J]. 化工进展, 2016, 35(10): 3301-3305.
- [20] 杨智春, 刘保. 一种高效铝材清洗剂的制备与性能研究[J]. 广东化工, 2020, 47(12): 48-50.
- [21] 蒋泽文, 任蕙岚, 何家伟, 等. 脱脂技术研究进展[J]. 电镀与精饰, 2020, 42(11): 29-38.
- [22] 陶源, 张威, 王丰收. 环保型水基金属清洗剂的研制及其性能研究[J]. 应用化工, 2019, 48(12): 2872-2875.
- [23] 韦连伟. 金属表面重油污清洗剂综述[J]. 民营科技, 2018(3): 18.
- [24] 陈洁琼. 防锈型水基金属清洗剂的研究与开发[J]. 中国洗涤用品工业, 2022(5): 55-58.
- [25] 沈志刚, 陈英瑞. 含油废水破乳除油的试验研究及工业应用[J]. 化工环保, 2000(3): 31-33.
- [26] 桑义敏, 李发生, 何绪文, 等. 含油废水性质及其处理技术[J]. 化工环保, 2004(S1): 94-97.
- [27] 杨春永. 浅析我国工程机械的发展趋势及对润滑油的新需求[J]. 润滑油, 2020, 35(6): 1-8.