

油污剥离型水基金属清洗剂的研究与开发

李高峰*, 张惠文

(诸暨神鹰康星化工有限公司, 浙江 诸暨 311800)

摘要:为了开发一种低泡、防锈、环保的油污剥离型水基金属清洗剂,研究了异构醇醚非离子与吉米奇阳离子2种表面活性剂的复配体系对金属零件的去污性能和泡沫行为,同时,研究了硼酸酯 Hostacor 692、羧酸胺及 TTA 防锈剂对钢材、铝材及铜材的缓蚀作用。该清洗剂最佳配方:水的质量分数为 66.0%~81.7%,无水偏硅酸钠的质量分数为 0.8%~2.0%,Hostacor 692 的质量分数为 2%~4%,羧酸胺的质量分数为 2%~5%,TTA 的质量分数为 0.5%~1.0%,PEG6000 的质量分数为 1%~3%,Dissolvine H-40 的质量分数为 3%~5%,DPNS 的质量分数为 5%~8%,C12022811 的质量分数为 4%~6%。用质量分数为 5% 的该水基金属清洗剂清洗 5 min,对机械加工油污的洗净率可达 99% 以上,对钢材、铝材及铜材均有很好的防锈性能,符合 JB/T4323.1—1999 标准。

关键词:低泡;防锈;剥离;水基金属清洗剂;超声;喷淋

中图分类号:TG174.4

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)12-0075-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2015.12.019

Research and development of new water based metal strip-cleaning agent

LI Gao-feng*, ZHANG Hui-wen

(ComStar GE Co., Ltd., Zhuji 311800, China)

Abstract: To develop a new type of water based metal strip-cleaning agent with the feature of low foam, antirust and environment-friendly, the decontamination and foam performance of a compound system consisting of isomeric fatty alcohol polyoxyethylene ether non-ion-surfactant and cationic Gemini-surfactant are studied. At the same time, the corrosion inhibition properties of Hostacor 692, carboxylic acid amine antirust agent and TTA are studied to protect steels, aluminum and copper products. The metal cleaning agent is composed of 0.8%~2% of anhydrous sodium metasilicate, 2%~5% of carboxylic acid amine antirust agent, 0.5%~1% of TTA, 1%~3% of PEG6000, 3%~5% of Dissolvine H-40, 6.5%~8% of DPNS, 4%~6% of C12022811 and 66.0%~81.7% of water. At normal temperature, the cleaning rate for oil stains is more than 99% when the concentration of this metal strip-cleaning agent is 5% and the cleaning time is 5 minutes. Good corrosion inhibition of aluminum, steel and copper can also be achieved, which can meet the standard JB/T 4323.1—1999.

Key words: low foam; antirust; stripping; water based metal cleaning agent; ultrasonic cleaning; spraying cleaning

金属工件在机械加工后需要清洗,以保证加工工序的顺利进行,防止引起或加速表面腐蚀,影响产品质量^[1]。水基清洗剂相对溶剂型清洗剂具有节能环保,不危害操作者健康,不易燃,成本低等一系列优越性^[2],得到广泛应用。但实际应用中,水基清洗剂会产生较多泡沫,不仅难漂洗,易残留,易溢出装置,而且泡沫会从清洗液中带走大量表面活性剂^[3],造成清洗液浪费和寿命缩短,因此人们开发了低泡水基金属清洗剂。由于一般清洗剂的除油过程是对油污的皂化和乳化过程,因此,随着清洗的进行,泡沫会增多,且体系中碱和表面活性剂消耗较大。为了改善这些问题,笔者开发了一种水基金属清洗剂,该清洗剂有很好的渗透性和分散性,可在常温下有效剥离金属表面的油污,油污分散在清洗液中,有很好的消泡作用,静置后油污与清洗液较好的分层,方便分出油污,从而延长了清洗液的使用寿命。去污、低泡、防锈等性能符合 JB/T 4323.1—

1999《水基金属清洗剂》。在喷淋和超声条件下测试,性能优于市售清洗剂,并在国内几家大型金属零件制造公司获成功应用。

1 试验

1.1 试样及前处理

配制清洗剂样品及其 5% (蒸馏水配制) 的工作液。

在 304 不锈钢试片 (50 mm × 25 mm × 2 mm) 上涂油泥 (某大型机械加工厂取样), 90℃ 下老化 8 h, 再室温下放置 3 d。

用乳油切削液、研磨液 (某大型机械制造公司使用产品) 配制油污, 按照 JB/4323.2—1999《水基金属清洗剂 试验方法》制作铸铁试片 HT300、铝试片 LY12、黄铜试片 H-62、紫铜试片 T2 (50 mm × 25 mm × (3~5) mm, 天津滨海金永金属试片有限公司生产)、碳钢试片 A3、20# 钢、45# 钢 (50 mm ×

收稿日期:2015-05-25

作者简介:李高峰(1980-),男,硕士,工程师,研究方向为表面活性剂的应用及工业清洗剂的研究与开发,通讯联系人,0575-87217583-8006,gaofengnuc@163.com。

25 mm × (2 ~ 3) mm, 江苏江都市建华仪器仪表厂生产) 的染污试片。

1.2 清洗剂配方的确定

1.2.1 基础配方

水基金属清洗剂主要由表面活性剂、清洗助剂及防锈剂组成。金属清洗中泡沫的产生和稳定受到多种因素的影响^[4-5]。笔者从常用的低泡表面活性剂中选取自身低泡且具有很好的渗透性,能快速与金属表面作用且有较好分散性的表面活性剂^[6-10]: 异构嵌段聚醚 DPNS6 (EO/PO 嵌段异构醇醚非离子表面活性剂, 自制); Lutensol XL30 和 Lutensol XL50 (BASF); Ter168 (Huntsman); Marlox (Sasol); 以及异辛基醇醚磷酸酯 AEP810 (江苏海安石油化工厂生产); 异辛基糖苷 IC08 (上海发凯化工有限公司生产); 吉米奇季铵盐 C12022811 (河南道纯化工技术有限公司生产)。洗涤助剂选无水偏硅酸钠,使产品保持碱性,充分发挥表面活性剂的去污作用,提高清洗效率,且对金属材料有缓蚀作用^[11]。羧酸胺缓蚀剂对黑色金属具有良好的缓蚀作用^[12],对铝材无腐蚀,且能提高产品浊点。

清洗剂的基础配方: 羧酸胺防锈剂的质量分数为 3%, 无水偏硅酸钠的质量分数为 1%, 低泡表面活性剂的质量分数为 5%, 水余量。

1.2.2 主要成分筛选

分别移取 1.1 配制的含有不同表面活性剂的清洗剂工作液 30 mL, 放入 1 支 100 mL 的具塞量筒内, 盖塞, 分别在 20、35、45、55、65℃ 下, 上下摇动 1 min, 摇动的距离约为 0.33 m, 频率约 100 ~ 110 次/min, 摇动完毕后, 打开筒塞, 置于水浴中静置 10 min, 观察泡沫消失情况。分别取 1.1 配制的不同清洗剂工作液各 2 份, 50℃ 下分别浸泡油泥试片和染污试片一段时间后, 观察油污从金属表面的脱落过程, 按照 JB/4323.2—1999《水基金属清洗剂试验方法》计算洗净率。室温静置工作液, 观察油污在工作液中的状态。确定基础配方中表面活性剂组分及比例, 配制不同含量无水偏硅酸钠的样品及其工作液, 分别浸泡油泥和油污试片 30 min, 确定无水偏硅酸钠的用量。

1.3 测试表征

1.3.1 试验法

在 20 ~ 50℃ 下分别采用超声和喷淋 2 种清洗方式对 1.1 中的油泥试片及染污试片进行清洗, 清洗剂质量分数为 5%, 清洗用水分别用蒸馏水, 水硬度为 150、300 mg/L 的硬水 (氯化钙配制, 以碳酸钙

计), 超声功率为 200 W, 喷淋压力为 0.18 MPa, 清洗时间为 5 min。清洗后用与清洗相同的水和相同方式 (超声或喷淋) 在常温 (20 ~ 30℃) 下漂洗 6 min, 最后在 90℃ 下干燥 10 min。按照 JB/4323.2—1999《水基金属清洗剂 试验方法》计算洗净率。

泡沫性能测试: 清洗工作液在喷淋试验机中循环喷淋 24 h, 喷淋压力为 0.18 MPa, 温度为 20℃, 每 1 h 测量泡沫高度。清洗试验中, 每 1 min 测试 1 次泡沫高度, 泡沫高度均小于 5 mm 为合格。

防锈性能测试: ①按照 JB/4323.2—1999《水基金属清洗剂 试验方法》进行测试。②工件清洗后, 在工作液中浸泡 1 d, 观察工件表面的状态。③将工件清洗后常温 (20 ~ 40℃) 放置 10 d, 观察工件的表面状况。

1.3.2 生产应用中评价

将产品送至几家大型金属零件制造公司, 按照生产中实际条件清洗工件, 各企业按照特定的标准考核清洗剂的清洗、泡沫、防锈等性能。

(1) 清洗工艺及条件

清洗工艺: 超声/喷淋清洗—超声/喷淋漂洗—干燥。

清洗剂质量分数: 3% ~ 6%; 清洗与漂洗用水: 对普通工件用自来水 (水硬度为 150 ~ 200 mg/L), 精密工件用蒸馏水; 清洗及漂洗时间为 2 ~ 5 min; 清洗温度: 常温 (冬季最低约 6 ~ 12℃, 夏季最高 20 ~ 40℃); 漂洗温度: 常温; 干燥温度: 90℃; 干燥时间为 8 ~ 15 min。部分工件上的油污为油泥, 其余为机械加工油。超声功率: 700 ~ 2 000 W; 喷淋压力: 0.4 ~ 0.6 MPa, 循环式喷淋。

(2) 性能评价

清洁度检测: 清洗液连续清洗 7 d 后, 对已清洗工件做清洁度试验。抽取第 7 d 工件, 分别用蒸馏水、有机溶剂清洗, 将洗液收集, 分别用 $\Phi 44 \mu\text{m}$ 与 $\Phi 10 \mu\text{m}$ 滤纸过滤, 对干燥过滤所得的残留物进行称重并记录。工件表面残留物 $< 1.0 \text{ mg}/10 \text{ cm}^2$ 即合格。清洗剂使用周期内 (7 ~ 30 d, 清洗中根据工件表面的污垢的轻重程度具体确定) 清洗过程无泡。防锈性能通过 1.3.1 所述的 3 种测试方法进行测试。

2 结果与讨论

2.1 表面活性剂的选择及其对去污的影响

用 1.2.1 所述方法选取的表面活性剂, 按基础配方分别配制清洗剂样品及其 5% 的工作液, 按照 1.2.2 所述的方法测试各体系的泡沫情况, 如表 1

所示。

表 1 不同低泡表面活性剂配制的工作液的泡沫情况

工作液中的低 泡表面活性剂	不同温度下工作液的泡沫高度/mm				
	20℃	35℃	45℃	55℃	65℃
Lutensol XL30	28	5	5	3	3
Lutensol XL50	32	36	34	37	35
Teric 168	15	6	6	5	5
Marlox	15	11	6	0	0
DPNS6	6	4	泡沫瞬间 消失	泡沫瞬间 消失	泡沫瞬间 消失
AEP810	48	47	24	13	13
IC08	15	11	11	12	11
C12022811	4	4	2	0	0

从表 1 中可以看出, DPNS6 的泡沫最低, 且温度在 45℃ 及以上均无泡。

按照 1.2.2 所述方法分别将油污试片和油泥试片浸泡在各清洗工作液中, 考察不同浸泡时间的洗净率及油污在清洗液的状态, 如表 2 所示。

表 2 不同浸泡时间的洗净率

工作液中的 低泡表面活 性剂	不同浸泡时间油泥 试片的洗净率/%				不同浸泡时间油污 试片的洗净率/%			
	10 min	20 min	30 min	40 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Lutensol XL30	—	8	11	36	21	49	62	91
Lutensol XL50	—	9	15	39	33	57	72	94
Teric 168	—	—	13	21	23	41	59	89
Marlox	—	12	28	44	38	66	82	86
DPNS6	10	26	39	52	29	59	86	91

从表 2 中可以看出, DPNS6 配方浸泡油泥试片的洗净率最高, 对油污试片的洗净率达 90% 以上, 其清洗体系泡沫最低, 油泥成片脱落并沉积在工作液底部, 油污漂浮在工作液表面, 剥离效果最明显, 这是由于其支链结构使其有较好的渗透性, 同时嵌段结构又具备较好的分散性。而其他清洗样品对油污乳化作用明显, 因此选用 DPNS6 为体系中的非离子表面活性剂。为了提高体系对油泥的剥离作用, 在含 DPNS6 配方中加入了 5% 的低泡吉米奇季铵盐表面活性剂 C12022811, 洗净率可达 99% 以上, 同时增强了金属表面的疏水性, 漂洗更容易。清洗后工作液静置, 油污与工作液很好地分层。

DPNS6 和 C12022811 体系中不同浸泡时间的洗净率如表 3 所示。

从表 3 中可以看出, DPNS6 和 C12022811 复配体系中浸泡 2 种染污试片, 不仅洗净率提高了, 而且清洗时间明显缩短。通过实验确定了配方中低泡表

面活性剂为 DPNS6 和 C12022811, 其质量分数分别为 5% ~ 9% 和 2% ~ 5%。

表 3 DPNS6 和 C12022811 体系中不同浸泡时间的洗净率

工作液中的 低泡表面活 性剂	不同浸泡时间油泥 试片的洗净率/%				不同浸泡时间油污 试片的洗净率/%			
	10 min	20 min	30 min	40 min	10 min	20 min	30 min	40 min
DPNS6,	24	75	92	99	56	94	99	99
C12022811								

2.2 无水偏硅酸钠对去污的影响

按配方(羧酸胺防锈剂质量分数为 2%, DPNS6 质量分数为 5%, C12022811 质量分数为 3%, 无水偏硅酸钠、水余量)配制不同无水偏硅酸钠用量的清洗剂, 再配 5% 的工作液, 按 1.2.2 所述方法对 2 种染污试片进行洗净试验, 浸泡时间为 30 min。结果如表 4 所示。

表 4 无水偏硅酸钠质量分数对洗净率的影响

无水偏硅酸钠质量分数/%	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
油污试片的洗净率/%	81.2	93.2	99.0	99.7	99.8	99.8
油泥试片的洗净率/%	20.2	77.6	99.2	99.8	99.9	99.8

由表 4 可以看出, 无水偏硅酸钠的加入大大提高了清洗剂的清洗力, 但试验中发现, 清洗后试片会残留白色印迹, 随着无水偏硅酸钠质量分数的增大, 印迹会越来越明显。为改善体系的漂洗性能^[10], 在配方中加入了 PEG6000。无水偏硅酸钠质量分数在 0.8% ~ 2.0%, PEG6000 质量分数为 1% ~ 3% 时, 漂洗无残留。Dissolvine H-40 质量分数为 3% ~ 5% 时, 用 500 mg/L 的硬水配制的工作液保持清亮。

2.3 防锈剂的选择及其对金属的防锈性能的影响

按配方(羧酸胺防锈剂质量分数为 2%, DPNS6 质量分数为 5%, C12022811 质量分数为 6%, 无水偏硅酸钠质量分数为 0.8%, PEG6000 质量分数为 1%, 水余量)配制清洗剂, 为增加清洗剂对铜材的缓蚀性, 加入了铜缓蚀剂 TTA^[13]。以 5% 的工作液按照 1.3 所述方法进行防锈性能试验, 结果表明, 对 LY12、A3、20[#]、45[#] 钢合格, 但对 HT300 不合格, 加入另 1 种防锈剂 Hostacor 692, 不仅增强对黑色金属的缓蚀能力, 还能对清洗剂的 pH 有较好的缓冲作用^[14]。试验确定 Hostacor 692 质量分数为 2% ~ 4%, TTA 质量分数为 0.5% ~ 1.0% 时, 所得清洗剂对铝材、钢材、黄铜、紫铜及铸铁的防锈试验均合格。

2.4 低泡防锈型水基金属清洗剂配方的确定

油污剥离型水基金属清洗剂(记为 SMC)的最佳配方为: 水的质量分数为 66.0% ~ 81.7%, 无水

偏硅酸钠的质量分数为 0.8% ~ 2.0% , Hostacor 692 的质量分数为 2% ~ 4% , 羧酸胺防锈剂的质量分数为 2% ~ 5% , TTA 的质量分数为 0.5% ~ 1.0% , PEG6000 的质量分数为 1% ~ 3% , Dissolvine H-40 的质量分数为 3% ~ 5% , DPNS6 的质量分数为 5% ~ 8% , C12022811 的质量分数为 4% ~ 6% 。

该产品为浅黄色透明液体, 无刺激性气味, 浊点为 38℃ , 25℃ 下 pH = 9.90 ~ 10.50 , 其 5% 的水溶液 pH 为 9.6 ~ 10.2。将产品在 15 ~ 35℃ 下放置 30 d , 在 5、-5℃ 下低温保存 15 d , 产品稳定。分别用水硬度为 150、250、300、400、500 mg/L 的硬水配制 5% 的工作液, 在 65℃ 的水浴中保持 1 h , 结果不析出不溶物或絮状物。按照 JB/4323.2—1999 腐蚀性能测试方法对 LY12、HT300、A3 钢、20#、45# 钢进行试验, 试片均无变色。

2.5 去污性能测试表征

2.5.1 超声清洗试验

用 SMC 与市售清洗剂工作液对 1.1 中的染污试片按照 1.3.1 所述方法清洗, 考察 SMC 与市售清洗剂的清洗、漂洗性能以及超声作用下清洗剂对金属缓蚀作用^[15]。SMC 洗净率可达 99% 以上, 且对试验的金属材料无腐蚀, 清洗后试片光亮, 室温放置 10 d , 无变色; 而市售清洗剂的洗净率在 92% 左右, 对 LY12 有腐蚀, 对 T2 有变色, 对 HT300、A3 室温放置 1 d , 试片表面变暗。用 SMC 与市售清洗剂工作液对 1.1 中的油泥试片按照 1.3.1 方法清洗, 考察 SMC 与市售清洗剂的清洗、漂洗性能。SMC 洗净率可达 99% 以上, 而市售清洗剂洗净率只有 78%。第 1 批清洗过程 SMC 与市售清洗剂均无泡, 但持续清洗 2 h 后, 市售清洗剂开始有较明显泡沫, 而 SMC 仍然无泡, 停止清洗后, 静置 1 h , SMC 工作液油污与清洗液分层。市售清洗剂对铝材及紫铜缓蚀作用明显不够。

2.5.2 喷淋清洗

用 SMC 与市售清洗剂工作液对 1.1 中的油泥及染污试片按照 1.3.1 方法清洗, 结果为: SMC 对染污试片洗净率及防锈情况与超声试验相同, 比市售清洗剂有明显优势, SMC 与市售清洗剂泡沫高度均小于 5 mm (实际生产中清洗液连续使用 2 d , 市售产品泡沫增多)。按 1.3.1 所述的方法对工件防锈性能进行测试, 3 种测试对钢材、铜材、铝材均无腐蚀。市售清洗剂对铝材试片缓蚀力不够。

2.6 生产应用中对清洗剂的性能评测

将产品送至国内几家大型金属零件制造厂进行

规模化实际应用试验。在超声及喷淋清洗条件下, 清洗剂使用周期内, 清洗的工件清洁度好, 清洗过程无泡, 工件在清洗工作液中浸泡 1 d 表面无锈蚀, 清洗后室内常温 (20 ~ 30℃) 存放 10 d 工件保持光亮。清洁度符合生产要求。如表 5 所示。

表 5 SMC 清洗带油泥工件试验清洁度记录表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.04	0.03	0.02	0.04	0.07
T2	0.10	0.06	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.07	0.04	0.09	0.06	0.08
T	0.12	0.10	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.11	0.07	0.11	0.10	0.15
NO.	T301	T072	T211	T050	T391	T351	T706	T575	T002	T012	T311	T013

注: T1 为 $\phi 44 \mu\text{m}$ 滤纸收集的残留物质量 (mg); T2 为 $\phi 10 \mu\text{m}$ 滤纸收集的残留物质量 (mg); T 为滤纸收集残留物总质量 (mg); NO. 为零件编号。

由表 5 可以看出, (1) 经 SMC 清洗后残留质量最高值为 0.14 mg , 远小于市售产品及生产标准的 1.0 mg 。

(2) 清洗剂使用周期内清洗过程无泡。

(3) 清洗后工件最长放置时间为 10 d , 第 11 d 目测观察工件表面保持光亮, 组装前抽样用带标尺的显微镜观察工件表面, 未发现锈斑。

(4) 清洗液静置, 油污能很好地从清洗液中分层 (油泥沉淀, 油污漂浮), 方便分离, 使清洗剂的使用周期由 7 d 延长至 20 ~ 30 d 。

3 结论

研究开发了一种油污剥离型水基金属清洗剂: 无水偏硅酸钠的质量分数为 0.8% ~ 2.0% , Hostacor 692 的质量分数为 2% ~ 4% , 羧酸胺防锈剂的质量分数为 2% ~ 5% , TTA 的质量分数为 0.5% ~ 1.0% , PEG6000 的质量分数为 1% ~ 3% , Dissolvine H-40 的质量分数为 3% ~ 5% , DPNS6 的质量分数为 5% ~ 8% , C12022811 的质量分数为 4% ~ 6% , 水的质量分数为 66.0% ~ 81.7%。按照相关标准及实际需求对其性能进行了评测, 并在喷淋和超声清洗条件下验证了清洗剂的去污、防锈及低泡性能, 并已得到了较满意的工业化应用。该清洗剂具有对机械加工油污有较强的清洗力; 防锈蚀性好, 对碳钢、合金钢及一些铝材和铜材具有很好的防锈作用; 常温下低泡, 油污剥离后分散在清洗液, 消泡性能较好; 工件易漂洗, 油污易分离, 使用寿命长, 适用于规模化、机械化的多种方式的工业清洗; 不含磷、强酸碱、亚硝酸盐及易挥发有毒物质, 环境友好。

(下转第 80 页)

层(精制油)中碱性氮化物的含量。将脱氮页岩油柴油置于恒温分液漏斗中,加入醇类复合剂进行萃取,搅拌到指定时间后静置分层,得萃取相和萃余相,分别蒸馏回收溶剂后,测定精制油(萃余油)的色度和收率。

1.3 分析方法

碱氮测定按 SH/T 0162 法;色度测定按 GB/T 6540 法;氧化安定性按 SH/T 0175 法;凝点测定按 GB/T 510 法。

2 试验结果与讨论

2.1 络合萃取脱氮试验

2.1.1 反应时间对碱性氮脱除率的影响

在反应温度为 50℃,剂油体积比为 0.03,助剂与络合剂的体积比为 1:1,静置时间为 20 min 的条件下,考察了反应时间对页岩油柴油脱氮效果的影响,如图 1 所示。

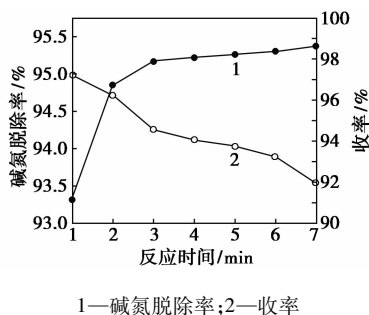


图 1 反应时间对碱性氮脱除率的影响

由图 1 可以得出,碱性氮化物在柴油与溶剂间

的传质比较迅速,在 3 min 之内基本达到平衡。超过 3 min,继续增加反应时间,碱性氮化物的脱除率基本不变。因此取反应时间为 3 min。

2.1.2 反应温度对碱性氮脱除率的影响

在反应时间为 3.0 min,剂油体积比为 0.03,助剂与络合剂的体积比为 1:1,静置时间为 20 min 的条件下,考察反应温度对页岩油柴油中碱性氮化物脱除率的影响,如图 2 所示。

由图 2 可以看出,反应温度对页岩油柴油的脱氮率有较为显著的影响。当反应温度低于 50℃ 时,随反应温度升高,碱氮脱除率增加,这是由于升高反应温度可以增加反应速率,当其他试验条件固定时,可以增大碱性氮的转化量,使碱性氮脱除率提高;而当反应温度高于 50℃ 时,碱性氮的脱除率略有下降,这是由于络合剂与碱性氮的反应为放热反应^[14],因此高温对碱性氮的脱除不利,并且随着反应温度的升高,精制油收率下降,因此综合考虑选定反应温度为 50℃。

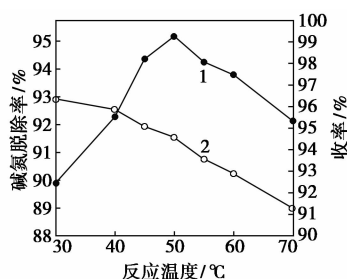


图 2 反应温度对碱性氮脱除率的影响

(上接第 78 页)

参考文献

- [1] 方华,朱再旭. 机械行业金属零部件加工的化学清洗[J]. 清洗世界,2014,30(12):31-35.
- [2] 庞健. 有机溶剂清洗作业安全风险浅析[J]. 安全,2013,(1):33-34.
- [3] Julia Boos, Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch. On how surfactant depletion during foam generation influences foam properties [J]. Langmuir, 2012, 28(25): 9303-9310.
- [4] Cyril Micheau, Pierre Bauduin, Olivier Diat, et al. Specific salt and pH effects on foam film of a pH sensitive surfactant [J]. Langmuir, 2013, 29(27): 8472-8481.
- [5] Ramesh R, Prajapati, Sunil S Bhagwat. Effect of foam boosters on krafft temperature [J]. J Chem Eng Data, 2012, 57(3): 869-874.
- [6] 武华萍,孙永强,康保安. 非离子表面活性剂的结构与性能的关系[J]. 日用化学品科学, 2012, 35(6): 17-21.
- [7] Lee D, Hansen, Wallace McCarlie V. From foam rubber to volcanoes: The physical chemistry of foam formation [J]. J Chem Educ,

2004, 81(11): 1581-1582.

- [8] Lunkenheimer K, Malysa K, Winsel K, et al. Novel method and parameters for testing and characterization of foam stability [J]. Langmuir, 2010, 26(6): 3883-3888.
- [9] 李高峰. 低泡表面活性剂及其在工业清洗剂中的应用 [J]. 清洗世界, 2015, 31(7): 28-32.
- [10] 李高峰, 张惠文. 低泡防锈性水基金属清洗剂的研究与开发 [J]. 电镀与涂饰, 2015, 34(9): 496-501.
- [11] 于海飞. 浅析无磷洗涤助剂的发展 [J]. 中国洗涤用品工业, 2014, (2): 47-49.
- [12] 侯万果, 王子君, 田前进. 金属防锈剂的防锈性能及试验验证 [J]. 轴承, 2014, (9): 37-40.
- [13] Gasparac R, Martin C R, Stupnisek E L. In situ studies of imidazole and its derivatives as copper corrosion inhibitors [J]. J Elect Soc, 2000, (2): 548-551.
- [14] 刘仁新. 金属碱性清洗液极限 pH 值的探讨 [J]. 材料保护, 2012, (1): 64-66.
- [15] 吴忠. 超声波清洗对铝件的空化腐蚀影响 [J]. 电子机械工程, 2014, 30(3): 46-48. ■