

化铣用可剥保护材料施工工艺研究

李金虎, 于建龙, 郑翔翔, 李清材, 王卫国, 徐生亮
(中昊北方涂料工业研究设计院有限公司, 兰州 730101)

摘要: 对化铣保护涂料、快干型修补胶、线密封胶的施工工艺性进行了研究, 通过喷涂过程中观察化铣胶膜的气泡和缩孔、测量干膜的厚度、化铣过程中是否出现胶膜卷翘、产生二台阶、浸蚀比偏离指标要求等项目, 研究了在不同环境和施工次数等条件对化铣用可剥保护材料性能的影响。

关键词: 化铣; 施工工艺; 浸蚀比

中图分类号: TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2024)11-0001-06

Research on Construction Technology of Chemical Milling Strippable Protective Material

LI Jin-hu, YU Jian-long, ZHENG Xiang-xiang, LI Qing-cai, WANG Wei-guo, XU Sheng-liang
(North Paint Industry Research and Design Institute Co., Ltd. of China Haohua, Lanzhou 730101, China)

Abstract: In this paper, the construction technology of milling protective coating, quick-drying repair adhesive and line sealant was studied. By observing the bubbles and shrinkage holes of milling adhesive film during spraying, the thickness of dry film is measured, and whether the paint film is curled during milling, resulting in two steps. The influence of construction technology on the properties of strippable protective materials for milling under different environment and construction times was studied in the project of etch ratio deviation index requirement.

Key words: chemical milling; construction technology; etching ratio

0 引言

化学铣切(简称化铣)是一种依靠化学溶液对金属材料表面进行均匀腐蚀的加工技术^[1]。该技术通过精确控制化铣溶液的腐蚀时间, 可以按需去除预定区域的金属基材, 获得满足加工技术要求的大尺寸、高精度产品。该技术无刀具损耗, 成型产品无切削应力, 疲劳性能优良, 尤其针对复杂多曲面蒙皮零件, 化铣仍然是部分零件现阶段不可替代的关键加工技术。

传统的机械加工无法满足结构复杂的薄壁零件的成型要求, 化铣技术具备以下优点:

1) 化铣是加工结构复杂的薄壁蒙皮零件的唯一方

法。对于 U 型薄壁蒙皮、双曲面 S 型薄壁蒙皮等零件而言, 零件厚度很薄, 若采用机械加工技术进行加工, 成本高且成品率较低, 制造难度大, 复杂曲面难定位, 加工时易与机床主轴产生干涉; 机械加工后残余应力大, 薄壁零件易变形, 较难满足使用要求。

2) 化铣是加工浅台阶(如锯齿形)结构的唯一方法。某些工件要求在外表面制备锯齿形浅台阶结构, 这些结构的深度仅为 0.1~0.3 mm, 加工精度要求达到 $\pm(0.03\sim0.05)$ mm, 疲劳寿命要求达到 6 000~8 000 h(或日历寿命 30 年)。这些区域的蒙皮多为曲面结构, 且壁厚为 2.0~2.5 mm, 用机械铣切方式制得的零件难以满足设计要求。

3) 化铣试样的疲劳性能优于机加试样的疲劳性能。研究表明, 化铣加工不产生切削应力, 化铣试样的疲劳曲线位于机加试样疲劳曲线的上方, 显示出更优的疲劳性能; 在同一加载应力水平下, 化铣试样的疲劳

收稿日期: 2024-06-20

作者简介: 李金虎(1996—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事化铣、临时保护可剥等特种涂料的研究与开发工作。E-mail: 2550496921@qq.com。

次数大于机加试样的疲劳次数; 化铣试样疲劳极限对应的加载应力高于机加试样疲劳极限对应的加载应力。

4) 加工效率高。化铣可同时进行正反两面(双曲面)或多个零件加工, 极大提高生产效率。

5) 随型适应性强。对新设计或试制的零部件, 使用化铣可以快速完成加工。

在化铣用可剥保护材料研制过程中, 研究材料的生产工艺条件和施工工艺条件是同等重要的。化铣用可剥保护材料成分的多样性和理化性质的特殊性、材料的成膜性及用户单位的现场应用环境和使用习惯等决定了材料的施工工艺。涂膜的质量直接影响被保护基材的使用价值, 而涂膜的质量决定于涂料施工的质量。如果施工不当、操作失误就不能得到性能优异的涂膜, 达不到预期理想的使用效果。正确的施工可以使涂料的性能在涂膜上充分体现, 反之则不能将化铣用可剥保护材料的优良性能发挥出来。

涂料对金属基材表面的保护作用是以其在物件表面所形成的涂膜来体现的。因此, 对涂料而言, 涂装是涂料能否得到优良胶膜并发挥作用的关键过程。

1 试验部分

1.1 化铣用可剥保护材料施工工艺的选取

化铣用可剥保护材料施工是用不同的施工方法和设备将涂料均匀地涂覆在被保护基材表面, 其施工质量直接影响涂膜的质量。化铣用可剥保护材料施工工艺包括工艺程序和流程、工艺条件和参数、操作方法、施工环境条件以及施工设备管理等内容, 应根据被涂物的形状大小等来选择合适的施工方式。化铣用可剥保护材料本身可满足喷涂、刷涂、浸涂等多种施工方式, 具体依据用户单位需求而定, 大多数用户现场化铣保护涂料施工方式为无气喷涂, 快干型修补胶和线密封胶施工方式为刷涂, 所以本文在整个研制过程中对化铣保护涂料施工方式确定为无气喷涂, 快干型修补胶和线密封胶施工方式确定为刷涂。

1.2 施工工艺研究所用材料及设备

试验材料设备如表 1 所列。

1.3 化铣用可剥保护材料样板制备

1.3.1 金属基材样板的前处理

金属基材的前处理液配比见表 2~4, 前处理过程见表 5。

1.3.2 化铣保护胶样板的制备

无气喷涂施工应在金属基材处理完成后不超过 24 h 进行, 施工现场温度控制在 12~38 °C, 相对湿度 ≤ 75%, 施工现场保持空气流动性好、干净整洁、无粉尘杂质颗粒。满足上述条件后, 将化铣保护涂料搅拌均匀, 将处理备用的样板平铺在样板陈列架上, 开启无

气喷涂机, 压强调节为 0.42~0.48 MPa, 喷涂第一道, 喷涂状态见表 6。

表 1 试验材料、设备规格及制造商

名称	规格	厂家
HX-500 化铣保护胶	工业	中昊北方涂料工业研究设计院有限公司
XBJ-600 快干型修补胶	工业	
XMF-100 线密封胶	工业	
机器人喷涂机		
无气喷涂机		
电火花检漏仪		英国百佳利公司
干膜测厚仪		四川思创倍科科技有限公司
游标卡尺		阜阳鑫佰汇科技有限公司
板刷		潜山市三喜制刷厂
毛笔		上海晨光文具股份有限公司
铝板		西安飞捷航空技术发展有限公司

表 2 化铣槽液成分

成分	氢氧化钠	三乙醇胺	铝板	水
质量/kg	1.80	0.48	0.15	14.00

表 3 轻脱氧液成分

原料	铬酸酐	硝酸	氢氟酸	水
用量	0.80 kg	2.50 L	0.18 L	15.60 L

表 4 酸铣液成分

原料	硝酸	氢氟酸	水
用量/L	5.00	0.25	8.65

表 5 不同金属基材前处理过程

基材类型	尺寸/mm	数量/片	前处理工艺
2024-T3 包铝合金	250×150×3	5	碱清洗后轻脱氧
	600×500×3	5	
2024-T42 包铝合金	250×150×3	5	碱清洗后轻脱氧
	600×500×3	5	
Al-Li 合金	250×150×3	5	碱清洗后轻脱氧
	600×500×3	5	
TC-4 钛合金	250×150×3	5	酸钝化
	600×500×3	5	

第一道喷涂完毕胶膜表干后, 喷涂下一道, 喷涂方向和上一道喷涂方向垂直成十字交叉, 保证胶膜厚度的均匀性。浅腐蚀化铣工序(铣切深度 ≤ 2 mm)胶膜厚度应控制在 250~300 μm, 深度腐蚀化铣工序胶膜厚度应在 400~500 μm。

表 6 不同金属基材化铣保护涂料喷涂后状态

金属基材	表面状态
2024-T3 包铝合金	喷涂完毕后约 1 min 内气泡已经完全破裂, 无缩孔现象
2024-T42 包铝合金	喷涂完毕后约 2 min 内气泡已经完全破裂, 无缩孔现象
Al-Li 合金	胶膜表面气泡粒径小, 密度大, 但表干过程中消泡较完全, 无缩孔现象
TC-4 钛合金	胶膜表面气泡粒径大, 密度小, 但表干过程中气泡可逐渐破裂, 无缩孔现象

1.3.3 快干型修补胶样板制备

施工现场温度控制在 12~45 °C, 相对湿度 ≤ 75%, 施工现场保持空气流动性好、干净整洁、无粉尘杂质颗粒。满足上述条件后, 将快干型修补胶搅拌均匀, 在制备好化铣保护胶胶膜的样板上刻型, 将模拟修补的区域剥除化铣胶胶膜后在裸露底材的部位刷涂快干型修补胶, 修补胶施工两道, 每道间隔 1 h, 干膜厚度控制在 ≥ 180 μm, 干燥好后备用。

1.3.4 线密封剂样板制备

施工现场温度控制在 12~45 °C, 相对湿度 ≤ 75%, 施工现场保持空气流动性好、干净整洁、无粉尘杂质颗粒。满足上述条件后, 将刻型线密封剂搅拌均匀, 在制备好化铣胶胶膜的样板上进行手工刻型, 使用毛笔沿刻型线方向刷涂两道, 每道刷涂完毕表干间隔 40 min, 干燥好后备用。

1.4 化铣用可剥保护材料性能验证

1.4.1 干膜测厚

无气喷涂工序完毕后胶膜 25 °C 干燥 18 h 进行厚度测量, 结果见表 7。

表 7 不同金属基材化铣保护涂料平均干膜厚度数据 μm

金属基材	浅腐蚀样板			深度腐蚀样板	
	1	2	3	4	5
2024-T3 包铝合金	256	281	275	405	456
2024-T42 包铝合金	247	253	271	421	436
Al-Li 合金	251	268	254	452	432
TC-4 钛合金	256	268	245		

注: 样板规格均为 250 mm × 150 mm × 3 mm; 浅腐蚀化学铣切深度 ≤ 3 mm; 深度腐蚀化学铣切深度 > 3 mm。

1.4.2 电火花检漏

使用电火花检漏仪(8 kV)进行“针孔”缺陷检漏, 利用电刷接触胶层表面, 若有“针孔”缺陷即会产生电火花报警提示。测试过程中的胶膜缺陷, 使用记号笔标记后采用快干型修补胶进行修补, 检测结果见表 8。

表 8 不同金属基材化铣保护胶膜电火花检漏结果

金属基材	样板				
	1	2	3	4	5
2024-T3 包铝合金	1 个漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点
2024-T42 包铝合金	无电火花漏点	1 个漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点
Al-Li 合金	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点
TC-4 钛合金	1 个漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点	无电火花漏点

注: 样板规格均为 600 mm × 500 mm × 3 mm。

1.4.3 刻型

采用 11# 手术刀按标准模具进行刻型, 见图 1~2 所示。

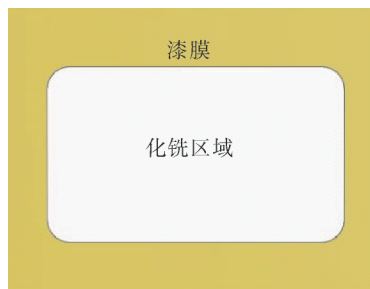


图 1 刻型工序示意



图 2 刻型工序实物

2 化铣用可剥保护材料施工工艺研究

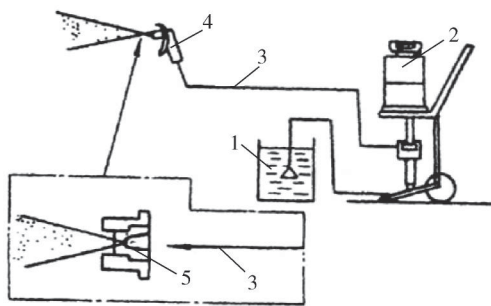
2.1 化铣保护涂料施工工艺研究

2.1.1 无气喷涂工艺研究

化铣保护涂料中含有滑石粉等密度较大的原材料, 在存放过程中会逐渐下沉。开桶后如未搅拌均匀即开始使用, 会造成上下部胶液成分比例与设计配方不一致, 上部胶液含树脂多, 附着力偏低, 而下部胶液含填料多, 附着力偏高。因此使用之前应先使用气动搅拌器搅拌或手动搅拌将化铣保护涂料搅拌均匀, 中低速转动即可, 高速转动会将气泡引入胶液, 导致胶液中

的气泡增多。

无气喷涂施工时, 高压泵将涂料施加高压使涂料从喷嘴喷出。涂料离开喷嘴的瞬间, 以高达 100 m/s 的速度与空气发生激烈的高速冲撞, 使涂料破碎形成微粒。涂料微粒的速度未衰减前, 继续向前不断与空气多次冲撞, 涂料微粒不断被粉碎, 从而实现涂料的雾化, 并黏附在工件的表面, 完成喷涂施工。无气喷涂原理如图 3 所示。



1. 涂料容器; 2. 高压泵; 3. 高压涂料输送管; 4. 喷枪; 5. 喷嘴

图 3 无气喷涂施工原理

无气喷涂设备、工艺及环境条件是影响无气喷涂的重要因素。研究过程中选取与用户单位现场相同型号的无气喷涂设备进行试验验证。喷枪喷嘴距离底材的垂直距离、压缩空气的压力以及施工的环境等对施工性能的影响见表 9。

化铣胶膜的厚度是影响化铣工序浸蚀比的关键因素之一, 通过研究不同厚度的化铣保护胶膜对化铣结果的影响间接判断喷涂施工次数。

2.1.2 化铣保护胶施工工艺对金属基材化铣加工工艺的影响

化铣加工是一种利用酸碱腐蚀剂对零件基体材料进行溶解的有选择的可控制的一种技术。通常, 化铣加工的主要流程如下所述。

化铣前: 金属基材前处理→干燥→施工化铣保护胶→干燥→测厚→电火花检漏→补漏→刻型;

化铣中: 碱清洗→温水洗→淋水洗→化铣→化铣过程监控→脱氧→淋水洗;

化铣后: 化铣区域符合性检查→漏腐蚀检查→粗糙度检查。

表 9 无气喷涂设备、操作及环境对施工性能的影响

影响因素	验证结果
距离底材垂直距离	枪嘴与工件应保持垂直, 并保持 30~50 cm 距离。当垂直距离小于 30 cm 时, 容易在金属基材表面形成流挂现象; 当垂直距离大于 50 cm 时, 雾化后的涂料会快速干燥形成干粉留在铝合金表面, 最终的胶膜会形成很多针孔状缺陷, 因此垂直距离保持在 30~50 cm 为最佳
喷涂压力	压缩空气压力应保持在 0.5~0.6 MPa 为最佳, 即无气喷涂设备正常喷涂时显示压力在 0.4~0.5 MPa。当设备显示压力小于 0.4 MPa 时化铣保护涂料雾化不完全, 容易造成胶膜厚度不均匀, 当设备显示压力大于 0.5 MPa 时容易出现扬尘现象, 间接导致胶膜致密性差。因此喷涂设备正常使用时控制表显压力在 0.4~0.5 MPa 为最佳压力
温度	通过试验发现, 施工温度高于 38 °C 时, 由于溶剂挥发过快引起胶膜干燥速度加快, 涂料从枪口出来的一瞬间已经干燥, 出现干喷现象, 干燥后的胶膜致密性差, 化铣过程容易出现“漏蚀”, 使胶膜失去保护作用, 所以, 该涂料的适宜施工温度应低于 38 °C。施工温度低于 12 °C 时, 喷涂后胶膜实际干燥的时间会大大延长, 影响施工效率, 因此施工温度应控制在 12~38 °C 范围内
湿度	通过试验发现, 施工环境的相对湿度大于 75% 时, 胶膜在干燥过程中胶膜表面会吸附空气中的水蒸气, 形成一层较薄的水汽膜从而抑制涂料中溶剂挥发, 导致胶膜长时间无法干燥, 同时在多遍喷涂时会影响胶膜层间附着力, 因此, 施工环境相对湿度应控制在 75% 以下

对不同胶膜厚度的样板进行单台阶和双台阶化铣加工, 通过胶膜卷翘情况、是否产生二台阶、浸蚀比是否满足指标要求对工件化铣加工结果进行判断。

化铣加工过程示意图 4 所示, 单台阶化铣胶膜卷翘实物见图 5 所示, 单台阶化铣金属基材产生二台阶实物见图 6 所示, 单台阶化铣实物见图 7 所示, 双台阶化铣实物见图 8 所示。

2.1.3 不同施工工艺对金属基材化铣加工浸蚀比的影响

化铣液与金属基材表面发生化学反应, 腐蚀加工的方向和基材表面的方向垂直, 即深度方向, 化铣液也同时与化铣胶边缘下面的基材起作用, 因而腐蚀加工沿着化铣胶边缘下面向着金属内部方向进行, 从而在

化铣胶的边缘下面形成了一个宽度 a (侧蚀量) 和一个半径近似等于铣切深度 b 的圆弧。 a 与 b 的比值称为浸蚀比 (或称腐蚀系数 k), 如图 9 所示。

不同胶膜厚度下各种类型金属基材化铣加工浸蚀比见表 10。

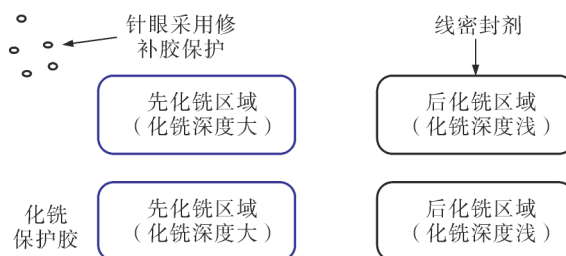


图 4 化铣加工过程示意

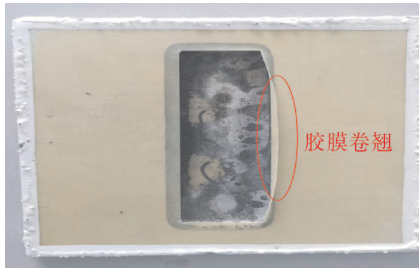


图5 单台阶化铣胶膜卷翘实物

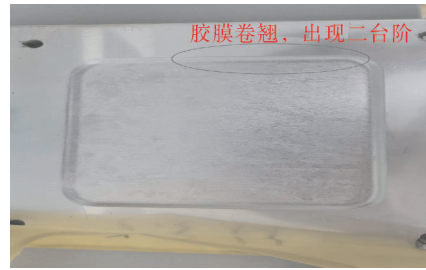


图6 单台阶化铣金属基材产生二台阶实物

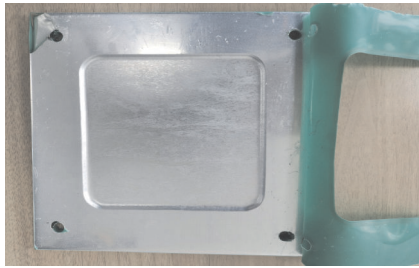


图7 单台阶化铣实物

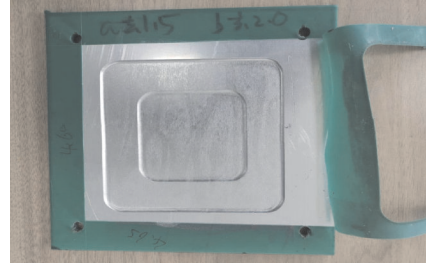


图8 双台阶化铣实物

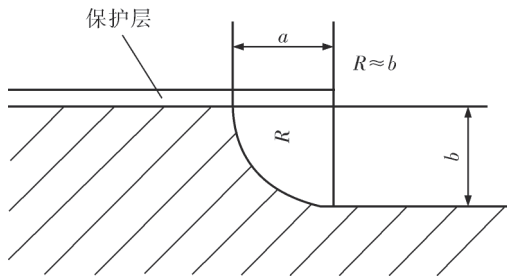


图9 浸蚀比示意

由表 10 可知,不同胶膜厚度对应相应的金属基材化铣深度,若胶膜厚度较薄,金属基材的化铣时间较长,铣切深度较大,则会导致胶膜卷翘撕裂,出现双台阶,工件加工尺寸会远偏离加工精度要求,甚至报废零件;因此,化铣加工工艺应综合考虑性价比,在满足工件加工精度要求的前提下,合理控制胶膜厚度。

施工工艺对工件化铣加工结果的影响见表 11。

由表 8~11 可知,化铣保护涂层的施工工艺为:喷涂时喷枪的喷嘴与底材的垂直距离为 30~50 cm,喷涂设备正常使用时控制表显压力在 0.4~0.5 MPa,施工现场的温度控制在 12~38 ℃,相对湿度控制在 75%以下。

2.2 快干型修补胶施工工艺研究

快干型修补胶是化铣保护涂料配套使用产品。化铣保护涂料在干燥成膜后,受胶膜遮盖能力、空气中颗粒杂质等影响,不可避免地会存在针眼之类的缺陷,若化铣工序进行前没有对化铣保护涂料出现损伤的区域进行快速修补,在化铣过程中胶膜损伤区域将腐蚀液“漏蚀”,严重影响化铣加工工件的表面质量,甚至会造成工件的报废。为了防止产生漏蚀,需要对针眼进行修补,化铣保护涂料一般采用喷涂或浸涂施工,且干燥时间长达 24 h,不利于修补操作,而快干型修补胶可进行局部刷涂,且干燥时间较短,一般仅为 1~2 h,可以大大提高生产效率。

表 10 不同胶膜厚度下各种类型金属基材化铣加工浸蚀比

胶膜厚度/ μm	浸蚀比									侧切率			化铣加工 精度要求
	2024-T3 包铝合金铣切深度/mm			2024-T42 包铝合金铣切深度/mm			铝锂合金铣切深度/mm			TC4 钛合金铣切深度/mm			
	1.0	2.5	4.0	1.0	2.5	4.0	1.0	2.5	3.0	1.0	2.0	2.5	
≤130	1.21	1.35		1.28	1.36		1.11	1.19		0.48	0.51	0.55	包铝合金:
130~220	1.19	1.22		1.22	1.23		1.05	1.11		0.45	0.48	0.52	1.2±0.1;
220~320	1.18	1.21	1.32	1.15	1.19	1.38	1.03	1.05	1.02	0.48	0.48	0.50	裸铝合金:
320~420	1.15	1.19	1.30	1.12	1.15	1.21	1.01	1.03	1.01	0.49	0.48	0.49	1.0±0.1;
420~500	1.14	1.16	1.20	1.11	1.10	1.22	1.01	1.02	1.01	0.47	0.50	0.51	钛合金: 0.5±0.1

表 11 不同厚度化铣胶膜对化铣结果的影响

检验项目	化铣胶膜厚度/ μm	化铣结果
浅腐蚀 (铣深 $\leq 3\text{ mm}$)	喷涂一道: ≤ 130	胶膜卷翘,铣切边出现二台阶,浸蚀比偏大
	喷涂二道:220~400	胶膜无卷翘现象,线偏离满足工艺要求
	喷涂三道: ≥ 400	胶膜无卷翘现象,线偏离满足工艺要求
深腐蚀 (铣深 $> 3\text{ mm}$)	喷涂一道: ≤ 130	胶膜卷翘,铣切边出现二台阶,浸蚀比偏大
	喷涂二道:220~400	胶膜卷翘,铣切边出现二台阶,浸蚀比偏大
	喷涂三道: ≥ 400	胶膜无卷翘现象,线偏离满足工艺要求

快干型修补胶用于较小面积的化铣胶膜缺陷的修补,不适用于大型施工设备,施工时使用较小的软毛刷将快干型修补胶均匀刷涂在需要修补的化铣胶膜表面即可。

工件化铣保护涂料喷涂工艺完成后,在转运或搬运的过程中有时会造成较大面积的化铣保护胶膜被破坏,露出金属底材,在这种情况下使用快干型修补胶修补就需其干膜达到一定厚度才能满足长时间化铣液浸泡不出现漏蚀的要求,通过研究不同厚度的快干型修补胶膜在化铣液中所能达到的防护时间来判断快干型修补胶的施工次数。快干型修补胶膜能达到保护底材在整个化铣工序不被腐蚀的效果所需的厚度见表 12。

表 12 不同厚度的修补胶膜对金属基材的保护

快干型修补胶膜厚度/ μm	化铣结果
刷涂一道 ≤ 90	在化铣时间 1 h 后出现局部漏蚀现象
刷涂二道 180~220	整个化铣工序可有效保护底材不被腐蚀
刷涂三道 ≥ 220	整个化铣工序可有效保护底材不被腐蚀

由表 12 可知,当快干型修补胶刷涂二道以上时,干膜厚度 $> 180\ \mu\text{m}$,可有效保护底材不被腐蚀。

2.3 线密封剂施工工艺研究

为了追求工作效率,在多台阶化铣工序中,采用激光刻型机一次刻型代替传统的手工多次刻型降低劳动强度。针对多台阶化铣,零件需要在不同的区域化铣至不同的深度,化铣深的区域先剔除化铣保护涂料胶膜再进行化铣,化铣浅的区域需要使用化铣保护涂料胶膜临时保护,但是待化铣区域已经完成刻型工序,为防止刻型线区域产生漏蚀,需要对化铣保护涂料胶膜的刻型线缝预先进行临时的密封保护。线密封剂涂覆不宜太厚,且要易于撕裂及撕裂整齐,所以这种缝隙不宜

采用修补胶进行修补,需要采用线密封剂进行密封,线密封剂使用示意图 10 所示。

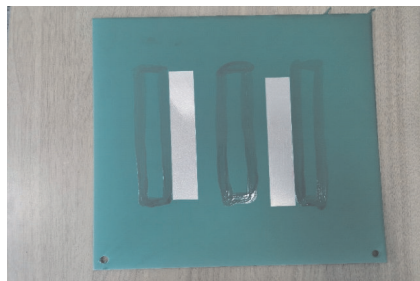


图 10 线密封剂使用示意

线密封剂用于密封完成刻型的线缝,为了不影响其他未刻型区域的临时保护,一般只将线密封剂涂覆在刻型线缝上,因此,线密封剂施工时只能使用较小的毛笔将其沿刻型线方向刷涂。线密封剂干燥后既要保证密封性能,又要保证撕裂的同时不掀起化铣胶膜,因此线密封剂涂覆在化铣胶膜上的厚度很重要。通过对比不同施工次数线密封剂所表现出来的密封性、易撕裂性和对化铣结果的影响确定最终产品的施工工艺。不同刷涂次数对密封性、易撕裂性和化铣结果的影响见表 13。

表 13 不同刷涂次数对密封性、易撕裂性和化铣结果的影响

项目	刻型方式	刷涂 1 道	刷涂 2 道	刷涂 3 道
密封性	手工刻型	浸泡后出现个别漏蚀点	浸泡后无漏蚀点	浸泡后无漏蚀点
	激光刻型	浸泡后出现较多漏蚀点	浸泡后局部出现漏蚀点	浸泡后无漏蚀点
易撕裂性	手工刻型	易撕裂	易撕裂	撕裂时局部带起化铣胶膜
	激光刻型	易撕裂	易撕裂	易撕裂
对化铣结果的影响	手工刻型	出现个别漏蚀,漏蚀点铣切边出现锯齿状	无漏蚀,铣切边平直	无漏蚀,铣切边平直
	激光刻型	出现较多漏蚀,漏蚀点铣切边出现锯齿状	局部漏蚀,漏蚀点出现锯齿状	无漏蚀,铣切边平直

由表 13 可知,线密封剂用于手工刻型时刷涂二道可满足使用要求,在用于激光刻型时需要刷涂三道可满足使用要求。

3 结果与讨论

通过对施工过程中影响施工质量的关键因素进行研究,确定了化铣用可剥保护材料的施工工艺。

(下转第 14 页)