

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.01.010

塑料渠道设计优化

郑宏刚^{1,3,4}, 李沙², 李艳琼⁵, 余建新^{1,3,4}

[1. 云南农业大学水利学院, 昆明 650201; 2. 中国建筑一局(集团)有限公司, 北京 100161; 3. 国土资源部“土地利用—云南陆良野外基地”, 昆明 650201; 4. 云南农业大学国土资源科学技术工程研究中心, 昆明 650201; 5. 云南农业大学图书馆, 昆明 650201]

摘要: 采用有限元软件对注塑级聚丙烯塑料渠道进行数值模拟和设计优化, 构建一种薄壁、能适应地基变形、不易开裂的新型渠道。结果表明, U形加肋塑料渠道结构较优, 在满足强度和位移的条件下, 典型农渠渠身厚度为3 mm, 纵肋厚度3 mm, 横肋厚度5 mm, 两侧壁各加一条纵肋, 每米设3根横肋时可达厚度最小、肋条数量最少, 使得塑料渠道质量最小从而价格最低、投资最省。

关键词: 末级渠道; 塑料渠道; 数值模拟; 设计优化

中图分类号: F301 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)01-0040-05

Optimization Design of Plastic Channel Design

Zheng Honggang^{1,3,4}, Li Sha², Li Yanqiong⁵, Yu Jianxin^{1,3,4}

(1. College of Water Resources and Hydraulic Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. China Construction First Building (Group) Corporation Limited, Beijing 100161, China;

3. Ministry of Land and Resources “Land use—Field base in Luliang County of Yunnan Province”, Kunming 650201, China;

4. Engineering Research Center of Science and Technology of Land and Resources, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

5. Yunnan Agricultural University Library, Kunming 650201, China)

Abstract: The numerical simulation and design optimization of injection molding polypropylene plastic channel were carried out by using finite element software. A new type of thin wall, which can adapt to the deformation of foundation and not easy to crack, is constructed. The results show that the U-shaped ribbed plastic a better channel structure, under the condition of satisfy the intensity and displacement, the typical irrigation ditch drainage body thickness is 3 mm, longitudinal rib thickness is 3 mm, cross rib thickness is 5 mm, each side is a longitudinal rib, per meter settes three cross rib can reach minimum thickness, rib quantity minimum, make plastic channels for minimum weight to the lowest price, the most province investment.

Keywords: last stage channel; plastic channel; numerical simulation; design optimization

农业自古以来都是我国的重要产业,而全国总用水量绝大多数为农业用水。农业用水约占全国总用水量的63%,其中灌溉用水又占农业用水的90%左右。目前,我国灌溉用水主要通过渠道输送到田间,由于渠道存在设计、质量、管理等种种问题而导致在输送途中损失大量的水。灌溉用水有效利用率平均不足50%,年损失水量约2000亿 m^3 ^[1]。目前渠道多为浆砌石、混凝土等刚性材料建造的传统渠道,虽然其强度大,但其抵抗温度变化、地基不均匀

沉降的能力较差,易产生裂缝,渠道开裂后,灌溉用水大量损失^[2-12];传统浆砌石、混凝土渠道渠壁较厚,厚度一般为10~40 cm,占地大;平原地区管道输水需要额外加压导致运行成本增加。我国人多地少,耕地供需矛盾十分突出,世界人均耕地面积为3200 m^2 ,我国人均耕地不到933 m^2 ,因此减小渠道建设占用耕地意义重大。末级渠道是灌溉系统中将水输送到田间灌溉的最后一级渠道,由于末级渠道数量庞大,减少其输水损失对提高灌区水利用率起

基金项目: 国土资源公益性科研专项经费项目(201511003-3)

通讯作者: 郑宏刚,副教授,研究国土资源利用与水土保持 E-mail: ynhg61@126.com

收稿日期: 2017-11-19

引用格式: 郑宏刚,李沙,李艳琼,等. 塑料渠道设计优化[J]. 工程塑料应用,2017,46(1):40-44,48.

Zheng Honggang, Li Sha, Li Yanqiong, et al. Optimization design of plastic channel design[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 46(1):40-44,48.

着重要作用。目前渠道多为浆砌石、混凝土等刚性材料建造的传统渠道,抵抗温度变化、地基不均匀沉降的能力较差,易产生裂缝,渠道开裂后,灌溉用水大量损失。针对以上问题,构建一种薄壁、能适应地基变形、不易开裂的新型渠道,以提高水利用效率、减少渠道占地具有重要意义。

随着塑料材料强度、韧性、耐候性的增强及价格的降低,塑料渠道用于田间小型渠道输水灌溉的条件已经成熟^[13-17]。塑料渠道的提出为解决我国水资源利用率低、传统渠道占地多等问题提供了另一种思路。

塑料渠道属于柔性渠道,在适应温度变化、地基不均匀沉降方面较浆砌石、混凝土等刚性渠道好。由于塑料渠道允许有一定的变形,在允许范围内适当变形可调整地基不均匀沉降和温度变化产生的破坏力。因此,塑料渠道不易开裂,从而减少灌溉用水的损失。占地多是传统渠道存在的一大问题,我国人均耕地占有量少,而大量传统末级渠道的修建进一步减少耕地面积。塑料渠道渠壁薄、糙率小,相同过流条件下具有较小横断面,塑料渠道的应用能有效减少占用耕地的面积,可在一定程度上缓解耕地缺少的矛盾。塑料渠道可实现工厂化生产,塑料渠道生产过程简单、生产周期短、质量均匀易控,生产效率高;在施工效率上,预制塑料渠道质量轻,安装方便,施工快捷;在后期维护时,如运行期间若某一段塑料渠道发生破坏,塑料渠道更容易更换,后期维护方便;塑料渠道还具有传统渠道不具备的可回收利用特性,损坏后的塑料渠道可回收利用。开展塑料渠道研究具有较强的应用价值。

1 塑料渠道断面设计

1.1 典型末级渠道基本参数

根据相关规范,农渠长度宜为 400~800 m,间距 100~300 m,现取农渠长度为 800 m,间距 200 m。水田万亩净灌水率 q 取 $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$ 。经计算,在上述条件下,典型末级渠道设计流量 Q 设为 $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

田间水利用系数取 0.95,渠道水利用系数取 0.90,则灌溉水利用系数 $\eta = 0.95 \times 0.9 = 0.855$;糙率 n 是断面设计中重要参数之一,由于塑料渠道研究较少,参照混凝土水泥砂浆抹面的糙率,保守取值 0.012;渠底比降取 $1/2000$ 。

1.2 断面尺寸计算

末级渠道中常见有矩形、梯形、U 形等断面形

式,U 形断面水力条件相对较优,具有较大的输水能力,笔者主要研究 U 形断面。

图 1 为 U 形断面示意图。

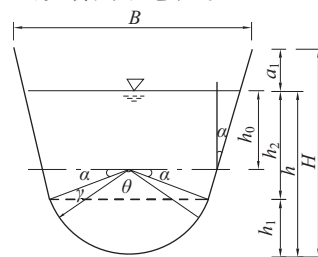


图 1 U 形断面示意图

U 形断面由向外倾斜的直线段和半圆形两部分组成,其中,直线段与半圆相切,简化计算取直线段外倾角 $\alpha=0^\circ$ 。U 形渠道的部分计算公式如下所示:

过水断面面积(A):

$$A = \frac{\pi^2}{2} \left[\pi \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right) - \sin 2\alpha \right] + h_2 (2r \cos \alpha + h_2 \tan \alpha) \quad (1)$$

湿周(P):

$$P = \pi r \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right) + \frac{2h_2}{\cos \alpha} \quad (2)$$

水力半径(R):

$$R = \frac{A}{P} \quad (3)$$

经计算得到 U 形典型农渠断面,渠深 400 mm,渠宽 300 mm,半径 150 mm。根据常用塑料制品的推荐壁厚,以聚丙烯(PP)为例,其厚度一般为 0.64~7.62 mm,现初取塑料渠道壁厚为 3 mm。具体尺寸见图 2。

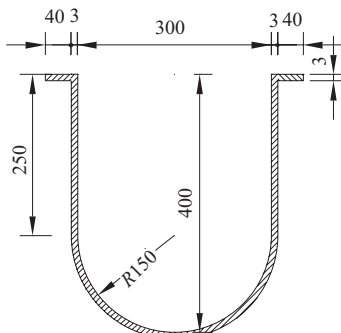


图 2 塑料渠道设计图

根据初步确定的渠道形状尺寸,运用有限元软件对其进行数值模拟,对其进行内应力和位移分析。

2 渠道结构数值模拟分析

塑料渠道由于采用的材料与传统材料有较大区别,传统渠道的结构不适合塑料渠道,利用数值模拟进行结构设计能有效降低成本,笔者采用导入

SAT 文件格式的方法进行模型的建立。在 CAD 中将模型建立后,输出为 SAT 格式,再导入数值模拟软件中。

2.1 参数选取

在有限元分析中,选用单元类型为 SOLOD45。SOLOD45 单元可用于模拟 3-D 实体单元,单元由八点组合而成,每个节点都具有 X, Y, Z 三个位移方向的自由度。该单元具有塑形、潜变、大变形等特性。选取的塑料材料为 PP,所取参数均以 PP 为例,具体参数:弹性模量为 0.896 GPa,泊松比为 0.431,密度为 1040 kg/m^3 。

(1) 网格划分。

模型在 CAD 中建立,采用自由网格划分法划分网格,网格大小定为 0.01。

(2) 荷载和边界条件。

渠道所受荷载为土压力和水压力,计算时按最不利荷载组合设定,地下水位设定与地面线平齐,渠道放空,土容重 $\gamma=1.3 \text{ g/cm}^3$ 。在添加荷载时,由于荷载不是均布荷载,先对模型最低点定义区域坐标系,再施加渐变荷载。由于塑料渠道受到的荷载两边对称且塑料渠道结构对称,因此假定渠道对称轴所在的面固定不动,取对称轴所在的面进行约束。荷载示意图见图 3。

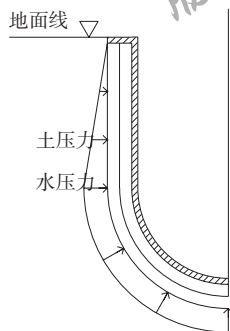


图3 荷载示意图

2.2 应力计算分析

按参数设定,通过软件对塑料渠道厚度为 3 mm 时模型进行求解计算,应力云图如图 4 所示。经计算塑料渠道厚度为 3 mm 时,最大应力值为 12.3 MPa。一般通用塑料的拉伸强度为 20 ~ 50 MPa,工程塑料的拉伸强度在 50 MPa 以上。以 PP 为例,注塑级别的 PP 拉伸强度为 25 ~ 32 MPa,挤塑、吸塑级别的 PP 为 23 ~ 80 MPa。对比计算结果,塑料渠道厚度为 3 mm 时最大应力为 12.3 MPa

未达到 PP 的拉伸强度,塑料渠道厚度为 3 mm 时在上述荷载作用下不会发生拉伸破坏。

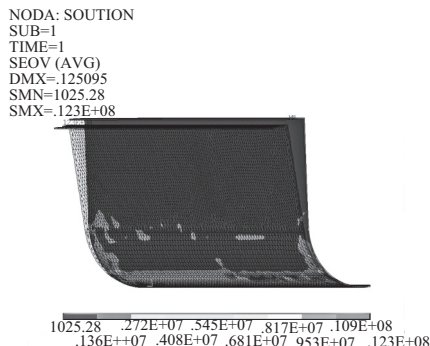


图4 应力云图

2.3 位移计算分析

在参数相同的情况下对塑料渠道厚度为 3 mm 模型进行位移计算,其位移结果如图 5 所示。

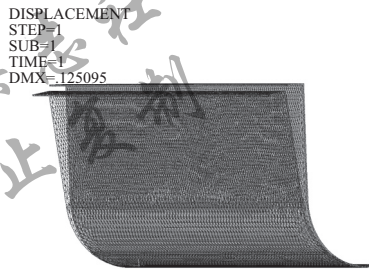


图5 位移云图

由位移图可知,位移从下到上逐渐增大,模型底部位移最小,在顶部达到最大值。这是因为模型受到的力为侧压力,相当于整个模型绕着底部进行转动,离底部最远的地方即顶部位移最大。

据相关资料,塑料渠道的最大允许位移为 0.03 m。

经计算,塑料渠道厚度为 3 mm 时,最大位移达 0.125 m,最大位移量超过 0.03 m,不满足位移要求。

由于塑料渠道厚度为 3 mm 时位移过大,因此,在相同荷载和约束条件下,逐步增大渠道厚度,当渠道厚度增至 5 mm 时,塑料渠道最大位移量为 0.024 m,最大应力和位移均在允许范围内,满足要求,但塑料渠道厚度取 5 mm 时,质量达 5.512 kg/m,会造成材料浪费、造价增加。为充分发挥塑料的性能,采用加肋结构对塑料渠道结构进行进一步优化,以达到节省材料、降低造价的目的。

3 塑料渠道结构优化

3.1 优化目标

约束条件:

$$g_1(X) = \sigma_{pp} - \sigma \geq 0 \quad (4)$$

式(4)表示塑料渠道最大应力不大于 PP 的拉伸强度。

$$g_2(X) = 0.03 - \varepsilon \geq 0 \quad (5)$$

式(5)表示塑料渠道位移不超过 PP 最大允许变形量。

对于本塑料渠道,在满足上述约束条件下,以渠道质量最轻为优化目标,目标函数如下:

$$\min f(x) = 0.58d + \frac{\pi}{2}[(0.15 + d)^2 - 0.15^2] + \left\{0.01 + \frac{\pi}{2}[(0.17 + d)^3 - (0.15 + d)^2]\right\} \cdot d_1 n_1 + 0.02d_2 n_2 \quad (6)$$

式中: d ——塑料渠道厚度;

d_1 ——横向肋条厚度;

n_1 ——一米长度内横向肋条数;

d_2 ——纵向肋条厚度;

n_2 ——纵向肋条数。

综上所述,在满足强度和位移的条件下,塑料渠道造价最低,而塑料渠道的造价与其质量直接相关,因此,笔者以塑料渠道质量为目标,在应力不超过注塑级 PP 的拉伸强度、允许最大位移不超过 0.03 m 的条件下,塑料渠道厚度最小、肋条数量最少,使塑料渠道质量最小从而价格最低、投资最省。

3.2 塑料渠道结构优化

对于塑料渠道,渠道壁厚过大不仅会因用料过多而增加成本,在制造工艺上也带来一定的困难,易发生气泡、缩孔、凹陷等现象;若壁厚过小则会成型困难、强度差,达不到实际使用要求。壁厚关系着渠道强度、刚度问题,且直接影响渠道造价。经计算分析发现,塑料渠道厚度设计为 3 mm 时满足应力要求,不满足位移条件。为减小位移,对塑料渠道厚度为 3 mm 时采用加肋结构进行优化,设置纵横肋。每米设三根横肋,两侧壁各加一条纵肋,肋条厚度与渠壁厚度相同。塑料渠道横肋设置在两端和中间,纵肋设置在 U 形断面直线段中间位置。从上节的计算结果可知,塑料渠道厚度为 3 mm,不加肋,应力已满足要求,因此,加肋后不再进行应力计算,仅对其进行位移计算。计算结果见图 6。

当设置纵横肋后,塑料渠道位移趋势和未加肋基本一致,均为下小上大,最大位移发生在顶部。设置纵横肋后,塑料渠道最大位移由未加肋时的 0.125 m 下降到 0.049 m,降幅明显,减小位移量一半以上,加肋后位移量较为接近最大允许位移。

DISPLACEMENT
STEP=1
SUB=1
TIME=1
DMX=0.048761

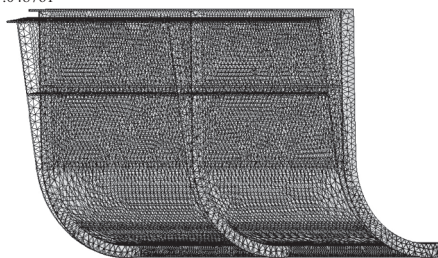


图6 加肋塑料渠道位移图

3.3 塑料渠道肋条数量及厚度优化

(1) 肋条数量对塑料渠道位移的影响。

由于塑料渠道厚度为 3 mm 时位移接近最大允许位移,现将每米的横肋数量增加到 4 根,横肋数量对位移影响见图 7。

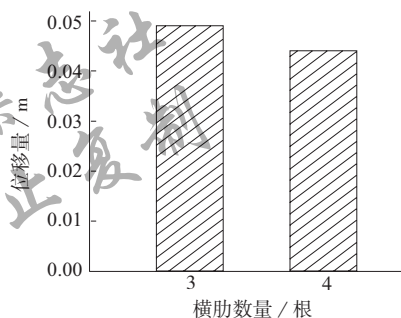


图7 横肋数量对位移影响

由图 7 可知,塑料渠道每米的横肋数量由 3 根增加到 4 根对位移影响不大,位移从 0.049 m 降到 0.044 m。

(2) 肋条厚度对塑料渠道位移的影响。

增加肋条厚度,将横肋厚度改为 5 mm,分析肋条厚度对塑料渠道位移的影响。计算结果如图 8 所示。

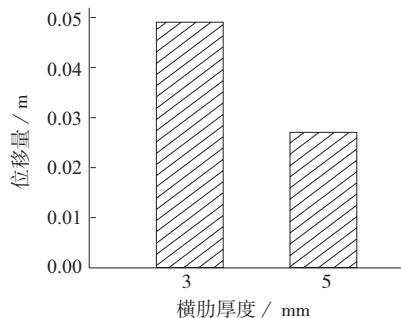


图8 横肋厚度对位移影响

当横肋厚度增加至 5 mm 时,塑料渠道的位移量为 0.027 m,较横肋厚度为 3 mm 时降低了 43.6%。改变塑料渠道横肋厚度比改变横肋数量对位移影响更为显著。

综上所述,塑料渠道渠身和纵肋厚度为 3 mm,横肋厚度 5 mm,两侧壁各加一条纵肋,每米设 3 根横肋较为合理,质量为 3.744 kg/m,最接近优化目标。优化后的塑料渠道如图 9 所示。

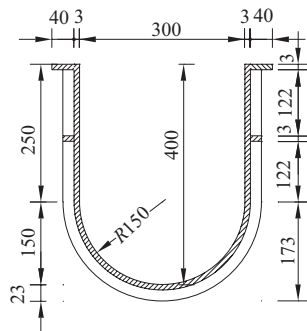


图9 优化后塑料渠道设计图

4 结论

(1) 当塑料渠道厚度为 5 mm 且未加肋时满足应力和位移条件,此时位移为 0.024 m、质量为 5.512 kg/m;经过优化后料渠道厚度为 3 mm,塑料渠道渠身和纵肋厚度为 3 mm,横肋厚度 5 mm,两侧壁各加一条纵肋,每米设 3 根横肋较为合理,塑料渠道位移为 0.027 m、质量为 3.744 kg/m。质量较优化前每米减少 1.768 kg,降低 30.1%。

(2) 塑料渠道在厚度上相对于浆砌石、混凝土等传统渠道具有较大优势。传统浆砌石、混凝土渠道渠壁较厚,厚度一般为 100~400 mm,渠壁占地面积大,所占面积几乎与渠道过水断面相同,部分小断面渠道渠壁占地可达三分之二,而塑料渠道厚度仅为 3 mm,渠壁占地小,减少渠道占地效果明显。

参考文献

- [1] 张明生,王丰,张国平. 中国农业用水存在的问题及节水对策[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊):1-6.
Zhang Mingsheng, Wang Feng, Zhang Guoping. Problems of agricultural water use in China and the strategies for saving water[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(S):1-6.
- [2] 吴剑疆,邵剑南. 南水北调中线一期工程总干渠高地下水位渠道设计主要问题及对策措施[J]. 水利水电技术,2014,45(11):41-44.
Wu Jianjiang, Shao Jiannan. Main problems from design of channel with high groundwater level of phase i of mid-route of south-to-north water transfer project for and their countermeasures[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(11):41-44.
- [3] 张明光,石金堂. 浅析渠道防渗工程中的几个问题[J]. 节水灌溉,2003(1):6-8.
Zhang Mingguang, Shi Jintang. Elementary analysis of several problems in canal seepage control projec[J]. Water Saving Irrigation, 2003(1):6-8.
- [4] 闫伟. 浅析渠道防渗中浆砌石衬砌的实践和应用[J]. 科技资讯,2011(5):122.
Yan Wei. Practice and application of anti-seepage in masonry lining[J]. Science & Technology Information, 2011(5):122.
- [5] 贺恒丽,赵东利. 渠道防渗技术的应用与推广[J]. 中国农村水利水电,2003(6):62-63.
He Hengli, Zhao Dongli. Application and popularization of canal seepage control technology[J]. China Rural Water and Hydropower, 2003(6):62-63.
- [6] 黄炜,刘清明,冷星火. 南水北调中线陶岔至鲁山段渠道防渗排水设计[J]. 人民长江,2014,45(6):4-6.
Huang Wei, Liu Qingming, Leng Xinghuo. Anti-seepage and drainage design for taocha to lushan section of south-to-north water diversion project[J]. Yangtze River, 2014, 45(6):4-6.
- [7] 陈雯龙. 新疆混凝土防渗渠道冻胀破坏成因分析及防冻胀措施[J]. 水利技术监督,2011(3):45-47,55.
Chen Wenlong. Genetic analysis on preventive measure against frost heaving damage and freeze expansion of concrete seepage control canal in Xin jiang[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2011(3):45-47,55.
- [8] 张茹,王正中. 季节性冻土地区衬砌渠道冻胀防治技术研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):236-240.
Zhang Ru, Wang Zhengzhong. The progress of the research on the prevention and cure of the irrigation channel frozen injury in the seasonal frozen soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3):236-240.
- [9] 何武全,郑水蓉,沈长越. 渠道防渗防冻胀复合型保温塑料板的试验研究[J]. 排灌机械工程学报,2012,30(5):553-557.
He Wuquan, Zheng Shuirong, Shen Changyue. Experimental study on composite insulating plasticboard of preventing Channel seepage and frost heave[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(5):553-557.
- [10] 邓昌军. 北干渠聚氨酯保温板防冻胀浅谈[J]. 中国水运,2015,15(7):357-358.
Deng Changjun. The north channel polyurethane insulation board of frost heave[J]. China Water Transport, 2015, 15(7):357-358.
- [11] 张欣,李萌. 盘锦渠道苯板保温试验研究[J]. 节水灌溉,2015(12):25-27.
Zhang Xin, Li Meng. Experimental research on polystyrene board heat-insulation for channel in panjin city[J]. Water Saving Irrigation, 2015(12):25-27.
- [12] 王兴国. PE 闭孔泡沫塑料板、聚苯乙烯泡沫保温板在渠道防渗工程中的应用[J]. 能源研究与管理,2012(2):70-72.
Wang Xingguo. Application of PE closed-cell foam board and polystyrene foam insulation board in canal seepage control engineering[J]. Energy Research and Mangement, 2012(2):70-72.
- [13] 卓昌明. 塑料应用技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
Zhuo Changming. Handbook for plastic application technology[M]. Beijing:China Machine Press, 2013.
- [14] 王喜梅,张振,赵志鸿,等. 2015 年我国工程塑料应用进展[J]. 工程塑料应用,2016,44(6):114-123.
Wang Ximei, Zhang Zhen, Zhao Zhihong, et al. Advance in the

通过以上研究发现,虽然利用激光毛化工艺可以有效提高金属-高分子连接件的拉伸性能,但不能有效地提高其剥离强度,相比之下虽然氢氧化钠阳极氧化对拉伸性能提高不够明显,但能明显提高剥离强度。因此,先对金属板进行激光毛化处理,再对其表面进行氢氧化钠阳极氧化,综合两种处理方式的优点,制备出兼具较高拉伸强度和剥离强度的金属-高分子连接件。其中激光毛化处理工艺为:激光器离焦量为0 mm,频率为3 Hz,毛化点密度为270 mm/min,脉宽度和电流分别为1 ms和70 A;氢氧化钠阳极氧化处理工艺为:钛合金板作为阳极,不锈钢作为阴极,质量分数为16.7%的氢氧化钠水溶液为电解质,电压为10 V,处理时间为10 min。由表3和表4的结果可知,连接件6的拉伸强度和断裂伸长率较高,分别为322 MPa和5.1%,甚至高于单纯进行激光毛化处理的连接件;而剥离强度也较高,为4.70 N/cm,标准差为0.4。

4 结论

利用不同的表面处理方法对金属板表面进行了预处理,并制备了相应的金属-高分子连接件。通过对其拉伸性能和剥离强度的测试发现,激光毛化处理可以有效提高金属-高分子连接件的拉伸强度,且加大脉冲和电流强度有利于进一步提高相应连接件的拉伸性能;而氢氧化钠阳极氧化处理对提高金属-高分子连接件剥离强度具有明显的效果,明显高于表面喷砂处理和激光毛化处理。同时对金属板表面进行激光毛化处理和氢氧化钠阳极氧化处理后,所制备的金属-高分子连接件的拉伸性能和剥离强度均得到明显提高,其中拉伸强度为322 MPa,断裂伸长率为5.1%,剥离强度为4.70 N/cm,标准差为0.4。

参考文献

- [1] 姜涛,柳乐仙,连慧琴. 离子聚合物-金属复合材料的研究进展[J]. 材料导报,2011,25(17):22-27.
- [2] 陈玉娇,郭钟宁,连海山. 高分子材料与金属激光微焊接实验与仿真分析[J]. 激光技术,2013,37(6):760-765.
- Chen Yujiao, Guo Zhongning, Lian Haishan. Finite element simulation and experimental study about laser micro-joining between biopolymer and metal[J]. Laser Technology, 2013, 37(6):760-765.
- [3] 赵贺. 导电高分子材料对金属防腐作用的研究[D]. 天津:天津工业大学,2017.
- Zhao He. Study on the antiseptic effect of conductive polymer materials on metals[D]. Tianjin:Tianjin University of Technology, 2017.
- [4] 王涛,赵宇新,付书红,等. 连续纤维增强金属基复合材料的研制进展及关键问题[J]. 航空材料学报,2013,33(2):87-96.
- Wang Tao, Zhao Yuxin, Fu Shuhong, et al. Progress and key problems in research and fabrication of fiber reinforced metal matrix composite[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2013, 33(2):87-96.
- [5] 刘兴科,李亚智,刘向东,等. 金属和复合材料多钉连接钉载分配研究[J]. 航空工程进展,2011,2(2):193-198.
- Liu Xingke, Li Yazhi, Liu Xiangdong, et al. Study on load distribution of multiple-bolted metal to composite joints[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2011, 2(2):193-198.
- [6] Mertens T, Gammel F J, Kolb M, et al. Investigation of surface pre-treatments for the structural bonding of titanium[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2012, 34:46-54.
- [7] 王春艳,周希文,黄珺,等. 表面处理工艺对TB8钛合金与复合材料胶接性能的影响[J]. 航空材料学报,2015,35(6):53-59.
- Wang Chunyan, Zhou Xiwen, Huang Jun, et al. Effect of surface treatment on bond joint strength of TB8 titanium alloy and composite material[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2015, 35(6):53-59.
- [8] Kurtovic A, Brandle E, Mertens T, et al. Laser induced surface nano-structuring of Ti-6Al-4V for adhesive bonding[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2013, 33(45):112-117.
- Liu Bin, Tan Jinghuan. Progress in the research of forming process of large-diameter plastic pipes[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(6):112-117.
- [17] 中蓝晨光化工研究设计院有限公司《塑料工业》编辑部. 2013~2014年世界塑料工业进展[J]. 塑料工业, 2015, 43(3):1-40.
- The China Plastics Industry Editorial Office, China Bluestar Chengrand Chemical Co. Ltd., Progress of the world's plastics industry in 2013-2014[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(3):1-40.
- (上接第44页)
- engineering plastics application of China in 2015[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6):114-123.
- [15] 代芳,吕召胜,王金立,等. 2015年我国热塑性工程塑料研究进展[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(3):125-134.
- Dai Fang, Lyu Zhaosheng, Wang Jinli, et al. Advances in engineering thermoplastics of China in 2015[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):125-134.
- [16] 刘斌,谭景焕. 大直径塑料管道成型工艺的研究进展[J]. 塑料科技, 2017, 45(6):112-117.