

不锈钢纤维的物理化学性能研究

吴 乾,周兆懿*,林圣光,胡海蓉

(上海市质量监督检验技术研究院,上海 200040)

摘要:对不锈钢纤维(线密度 3.60 dtex)的相关物理化学性能进行了研究,结果发现,不锈钢纤维纵向表面具有不均匀的沟槽结构,横截面呈近似圆形,其红外光谱无吸收峰,重金属测试结果显示其主要重金属元素成分为铁(Fe) 66.81%、铬(Cr) 18.62%、镍(Ni) 12.32%;经测试,其断裂强力为 4.87 cN,断裂强度为 1.36 cN/dtex,断裂伸长率为 1.0%;通过热失重分析,其在 900 °C 以下的纤维残留率达到 98.26%,热稳定性优异;不锈钢纤维的耐化学试剂性能优异,不溶于大部分的酸、碱及有机溶剂。

关键词:不锈钢纤维;表观形貌;重金属元素;热失重;耐化学试剂性

中图分类号: TS101.92

文献标识码: A

文章编号: 1673-0356(2019)09-0008-04

随着现代工业技术的高度发展^[1],对于克服电磁感应、耐高温、导电性、耐腐蚀性等方面产生了更高要求^[2-5],而不锈钢纤维通过多次集束拉拔、退火、熔抽处理制成^[6],不仅具有金属材料优异的机械性能^[7]、耐热稳定性^[8]、耐化学试剂性^[9]等优点,还兼有天然纤维和合成纤维的可纺性和柔软性^[10],因此不锈钢纤维在现代纺织工业领域及其他工业领域中的应用愈发广泛。目前,通过不锈钢纤维与其他纤维的混纺,已成功开发了功能性的纺织材料、功能服装等,并应用于防辐射、高温过滤、抗菌等领域^[11-13]。本研究通过一系列的物理化学性能测试对不锈钢纤维的理化性能进行了研究,为其在相关应用领域和实际使用提供科学的数据支撑^[14]。

1 试验部分

1.1 材料与仪器

测试样品:不锈钢纤维(线密度 3.60 dtex, 36~45 mm 短纤)

试剂:盐酸、甲酸、硝酸、氨水、次氯酸钠、氢氧化钠、N,N-二甲基甲酰胺、丙酮、二氯甲烷、二硫化碳等,以上均为分析纯(AR)(国药集团化学试剂有限公司);砷(As)标准储备溶液(100 μg/mL),镉(Cd)标准储备溶液(100 μg/mL),钴(Co)标准储备溶液(1 000 μg/mL),铬(Cr)标准储备溶液(100 μg/mL),铜(Cu)标准

储备溶液(100 μg/mL),镍(Ni)标准储备溶液(100 μg/mL),铅(Pb)标准储备溶液(100 μg/mL),铋(Sb)标准储备溶液(100 μg/mL),标准溶液(美国 O2Si 公司)。

仪器:AVI0200 型电感耦合等离子体发射光谱仪(铂金埃尔默仪器(上海)有限公司),Nicolet iS10 型傅里叶变换红外光谱仪(赛默飞世尔科技(中国)有限公司),Instron 5965(5kN)型双臂万能材料试验机(美国英斯特朗公司),TESCAN VEGA 3 XMU 型真空扫描电子显微镜(捷克 TESCAN 公司),SAT 449 F3 型热差分析仪(德国耐驰科学仪器有限公司)。

1.2 不锈钢纤维的表征与测试方法

1.2.1 表观形貌表征

采用 VEGA 3 XMU 型真空扫描电子显微镜分别对不锈钢纤维的纵向及横截面进行观察。

1.2.2 红外光谱表征

利用 Nicolet iS10 型傅里叶变换红外光谱仪的衰减全反射法(ATR)附件,在不破坏纤维的情况下直接对样品进行红外表征。

1.2.3 重金属测定

参照 GB/T 17593.2-2007《纺织品重金属的测定第 2 部分:电磁耦合等离子体原子发射光谱法》^[15]测定不锈钢纤维中的重金属元素及其含量。

1.2.4 不锈钢纤维的力学性能测试

参照 GB/T 14337-2008《化学纤维短纤维拉伸性能试验方法》,使用 Instron 5965(5KN)型双臂万能材料试验机对样品的断裂强力和断裂延伸率进行测试,单位线密度的预加张力为 0.15 cN/dtex^[16-17]。

收稿日期:2019-06-07

作者简介:吴 乾(1992-),男,助理工程师,硕士研究生,主要从事功能性纺织品研究及检测,E-mail:argus99@foxmail.com。

* 通信作者:周兆懿,高级工程师,E-mail:superboreas@126.com。

1.2.5 热稳定性的测试

使用 SAT 449 F3 型热差分析仪对不锈钢纤维进行热稳定性分析,测试温度范围为 25~900 °C,气体氛围为氮气。

1.2.6 溶解性能的测试

参照 FZ/T 01057.4-2007《纺织纤维鉴别试验方法第 4 部分溶解法》^[18]对样品在不同温度和时间下在化学试剂中的溶解性能进行研究。

2 结果与讨论

2.1 不锈钢纤维的表现形貌

使用 VEGA 3 XMU 型真空扫描电子显微镜,电子束加速电压选择 20 kV,对不锈钢纤维的纵向及横截面形态进行 SEM 扫描电镜测试,如图 1 所示。

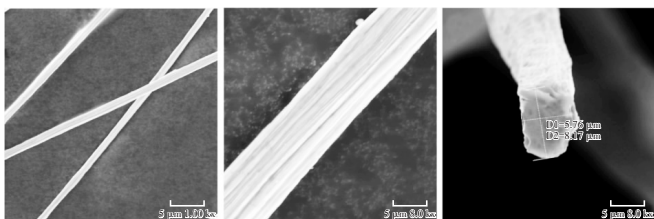


图 1 不锈钢纤维的纵向及横截面 SEM 扫描电镜图

图 1(a)为 1 000 倍条件下的纤维纵向,可以发现不锈钢纤维的纵向色泽光亮。继续放大倍数至 8 000 倍(图 1(b)),可以发现纤维纵向存在明显的沟槽结构,且沟槽不均匀,表面较为粗糙,进一步通过观察同放大倍数(8 000 倍)下该纤维的横截面直径,见图 1(c)可以明显发现其直径不匀,呈近似圆形,与图 1(b)纵向形态相一致,其主要原因在于制备不锈钢纤维多采用熔抽法,会导致纤维直径不匀且不连续。从纤维横截面中还可以发现该纤维无包芯复合结构。

2.2 不锈钢纤维的红外光谱

将不锈钢纤维直接放入 Nicolet iS10 型傅里叶变换红外光谱仪的 ATR 附件中进行红外光谱测试,结果如图 2 所示。

通过图 2 发现,不锈钢纤维在 ATR 红外光谱无明显有机官能团特征吸收峰,进一步结合其 SEM 形貌表征结果,可以初步判断该纤维束为 100%的不锈钢纤维。

2.3 不锈钢纤维的重金属测定

使用电感耦合等离子体发射光谱仪对该不锈钢纤维内的重金属元素及其含量进行测定,共测定 2 次,重

金属元素含量取平均值,测试结果见表 1。

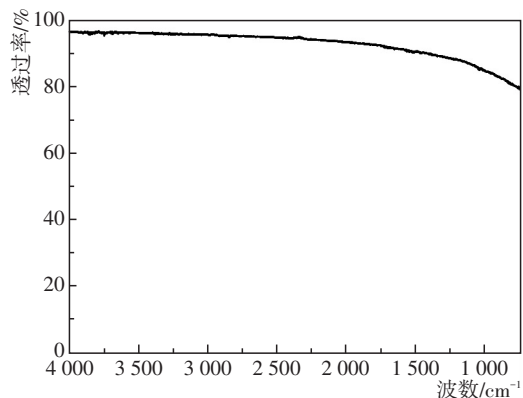


图 2 不锈钢纤维的 ATR 红外光谱图

表 1 不锈钢纤维的重金属测定结果

金属元素	结果一 /mg · kg ⁻¹	结果二 /mg · kg ⁻¹	平均值 /mg · kg ⁻¹	含量/%
Ag	0	0	0	0
Al	2 154.87	2 479.9	2 317.385	0.21
Ba	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0
Co	2 465.48	2 299.02	2 382.25	0.21
Cr	211 317	202 406	206 861.5	18.62
Cu	7 074.77	6 455.03	6 764.9	0.61
Fe	768 626	715 946	742 286	66.81
Mn	7 348.15	6 838.81	7 093.48	0.64
Ni	141 866	131 862	136 864	12.32
Pb	0	0	0	0
Sb	4 977.83	4 638.92	4 808.375	0.43
Sr	0	0	0	0
Zn	1 572.57	1 777.93	1 675.25	0.15
总计	1 147 403	1 074 704	1 111 053	

由表 1 所示,该不锈钢纤维中的主要重金属元素及其含量由大到小分别为:铁(Fe)66.81%、铬(Cr)18.62%、镍(Ni)12.32%、锰(Mn)0.64%、铜(Cu)0.61%、锑(Sb)0.43%、钴(Co)0.21%、铝(Al)0.21%、锌(Zn)0.15%。查阅 GB/T 20878-2007《不锈钢和耐热钢牌号及化学成分》发现,其重金属元素组成成分符合不锈钢的定义^[19]。

2.4 不锈钢纤维的力学性能测试

根据 GB/T 14337-2008 规定的试验方法,使用 Instron 5965(5kN)型双臂万能材料试验机对不锈钢纤维的断裂强力及断裂延伸率进行测试,预加张力设定为 0.54 cN,测得不锈钢纤维的断裂强力为 4.87 cN,断裂强度为 1.35 cN/dtex,断裂伸长率为 1.00%,并与几种常见化学纤维的断裂强度及断裂延伸率进行比

较^[20-23],结果见表2。

表2 不同纤维的断裂强度及断裂延伸率

种类	断裂强度/ $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	断裂伸长率/%
不锈钢纤维	1.35	$M_1 \pm 1.0$
聚酯纤维(毛型)	≥ 3.30	$M_1 \pm 7.0$
锦纶66(毛型)	≥ 3.60	$M_1 \pm 12.0$
腈纶	> 1.9	$M_1 \pm 8.0$
丙纶	2.70	$M_1 \pm 20.0$

注:各纤维的线密度同为 3.60 dtex ; M_1 为断裂伸长率中心值。

由表2可知,当各纤维的线密度同为 3.60 dtex 时,不锈钢纤维比常用的一些化学纤维的断裂强度更低,同时断裂伸长率更小,说明不锈钢纤维的弹性较差,纤维的刚性更强。

2.5 不锈钢纤维的热稳定性

通过SAT 449 F3型热差分析仪对不锈钢纤维进行热失重分析测试(TGA),测试温度范围为 $25 \sim 900 \text{ }^\circ\text{C}$,升温速率为 $25 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,结果如图3所示。

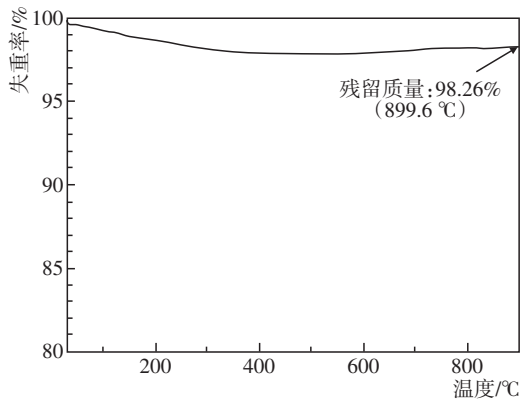


图3 不锈钢纤维的热失重曲线

如图3所示,当温度达到 $899.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,该纤维的残留质量仍然达到 98.26% ,纤维的衰减极小,说明该不锈钢纤维在 $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下具有优良的热稳定性。

2.6 不锈钢纤维的溶解性能

参照FZ/T 01057.4-2007《纺织纤维鉴别试验方法第4部分溶解法》对不锈钢纤维在部分溶剂中的溶解性进行测试,溶解时间分别为5、10、30 min,溶解温度为室温(部分化学试剂溶解温度为 $70、95 \text{ }^\circ\text{C}$),浴比为 $1:100$,溶解性能结果见表3。

由表3可见,不锈钢纤维具有很强的耐酸碱腐蚀性,除了在 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 75% 硫酸下溶解30 min能部分腐蚀溶解外,无论是在强酸性或碱性条件下,不锈钢纤维都很难腐蚀溶解。同时可以看到不锈钢纤维在部分有机溶剂中也有优异的耐化学试剂性。

表3 不锈钢纤维在不同溶剂中的溶解性能

溶剂	溶解性		
	5 min	10 min	30 min
20%盐酸	I	I	I
98%盐酸	I	I	I
75%硫酸	I	I	I
75%硫酸(70 °C)	I	I	P
98%硫酸	I	I	I
98%甲酸	I	I	I
98%硝酸	I	I	I
冰乙酸	I	I	I
2.5%氢氧化钠	I	I	I
次氯酸钠	I	I	I
氨水	I	I	I
N,N-二甲基甲酰胺	I	I	I
N,N-二甲基甲酰胺(95 °C)	I	I	I
二氯甲烷	I	I	I
丙酮	I	I	I
二硫化碳	I	I	I

注:非特殊标记的溶解温度为室温条件;I=不溶;P=部分溶解。

3 结论

(1)通过扫描电镜对不锈钢纤维的外观结构进行表征,发现其纵向为不均匀沟槽结构,横截面形态近似圆形。

(2)通过ATR红外光谱及ICP重金属元素测定发现,不锈钢纤维在红外光谱中无吸收峰,对不锈钢纤维中的主要成分进行标定,发现其主要重金属元素为铁(Fe) 66.81% 、铬(Cr) 18.62% 、镍(Ni) 12.32% 等。

(3)不锈钢纤维的断裂强度为 1.34 cN ,断裂伸长率为 1.0% ,达到了一定的纺丝要求。

(4)通过TGA热失重分析发现不锈钢纤维在 $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 的试验条件下的衰减极小,纤维的残留质量为 98.26% ,表现出了优异的热稳定性。

(5)不锈钢纤维的耐化学试剂性很强,在常温条件下完全不溶于一些常见的酸、碱及有机溶剂。

参考文献:

- [1] 郑惠文.纺织用金属纤维市场现状及前景分析[J].产业用纺织品,2017,35(9):35-38.
- [2] 杨强.不锈钢纤维的抗损伤性能研究[D].青岛:青岛大学,2008.
- [3] 许琳,李维鹏,段亚峰.不锈钢纤维及其功能性纺织品的研究现状与展望[J].毛纺科技,2004,(9):56-59.
- [4] 宋红,王绍斌,王晓梅.不锈钢金属纤维的纺纱性能研究[J].西安工程科技学院学报,2003,(4):291-295.
- [5] 奚正平,张健,王克光,等.不锈钢纤维可纺性能研究现状[J].稀有金属材料与工程,2002,(6):452-455.
- [6] 王绍斌,王晓梅,段亚峰.含不锈钢金属纤维混纺纱的性能分析[J].四川纺织科技,2002,(2):36-37.

- [7] 段永洁,谢春萍,王广斌,等.几种不锈钢长丝复合纱的性能研究[J].棉纺织技术,2016,44(11):1-5.
- [8] 李树梁.316LN 不锈钢热处理组织与性能研究[D].南昌:南昌航空大学,2014.
- [9] 段亚峰,吴惠英,潘葵.不锈钢纤维及其应用[J].产业用纺织品,2008,26(12):1-7.
- [10] 刘先兰,刘楚明.不锈钢纤维生产工艺的现状分析[J].材料研究与应用,2007,(3):169-172.
- [11] 郭萍.金属纤维表面改性技术的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2004.
- [12] 葛渊,廖际常,孙振成,等.不锈钢纤维长度对不锈钢纤维毡均匀度的影响[J].粉末冶金技术,1999,(3):192-194.
- [13] 石凤鸣.不锈钢纤维的特点及其应用[J].材料科学与工程,1988,(3):22-26.
- [14] 周兆懿.Soluna 复合纤维物理化学性能研究[J].上海纺织科技,2013,41(11):8-10.
- [15] 纺织品重金属的测定第2部分:电磁耦合等离子体原子发射光谱法:GB/T 17593.2-2007[S].
- [16] 化学纤维短纤维线密度试验方法:GB/T 14335-2008[S].
- [17] 化学纤维短纤维拉伸性能试验方法:GB/T 14337-2008[S].
- [18] 纺织纤维鉴别试验方法第4部分溶解法:FZ/T 01057.4-2007[S].
- [19] 不锈钢和耐热钢牌号及化学成分:GB/T 20878-2007[S].
- [20] 涤纶短纤维:GB/T 14464-2008[S].
- [21] 锦纶短纤维:FZ/T 52002-2012[S].
- [22] 腈纶短纤维和丝束:GB/T 16602-2008[S].
- [23] 丙纶短纤维:FZ/T 52003-2014[S].

Study on Physicochemical Properties of Stainless Steel Fibers

WU Qian, ZHOU Zhao-yi*, LIN Sheng-guang, HU Hai-rong

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200040, China)

Abstract: The physical and chemical properties of stainless steel fibers (linear density 3.60 dtex) were studied. The results showed that the longitudinal surface of stainless steel fibers had uneven groove structure, the cross-section was approximately circular, and the infrared spectrum had no absorption peak. The results of heavy metal test showed that the main heavy metal elements were as follows: iron 66.81%, chromium 18.62%, nickel 12.32%. The test results showed that the breaking strength of stainless fibers were 4.87 cN and 1.36 cN/dtex, and the breaking elongation was 1.0%. Thermal gravimetric analysis showed that the residual rate of the stainless steel fibers below 900 °C reached 98.26%, so the thermal stability was excellent. The stainless steel fibers had excellent chemical resistance and were insoluble in most acid, alkali and organic solvents.

Key words: stainless steel fiber; apparent morphology; heavy metal elements; thermal weightlessness; chemical reagent resistance

欢迎订阅 2020 年《有机硅材料》

《有机硅材料》(原名《有机硅材料及应用》)创刊于1987年,是由中国氟硅有机材料工业协会有机硅专业委员会、中蓝晨光化工研究设计院有限公司、国家有机硅工程技术研究中心共同主办的有机硅专业技术期刊。本刊重点报道国内外有机硅方面的新技术、新工艺、新产品及有机硅产品的新应用等;及时提供有机硅材料市场、会议及国内外信息。主要栏目有基础研究、装备工艺、专论·综述、技术进展、分析测试、产品应用、行业动态等,是您了解国内外有机硅工业、技术及应用最新进展的重要窗口。

《有机硅材料》作为全国唯一的有机硅专业技术期刊,深得用户的喜爱。覆盖面广,信息量大,是了解国内外有机硅行业最新技术进展的重要窗口。它是中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、美国《化学文摘》收录期刊、中国期刊数据库收录期刊,并已入编“中国学术期刊光盘版”,美国 EBSCO 期刊全文数据库收录期刊。

《有机硅材料》为双月刊,大16开本,逢单月25日出版,国内外公开发行。国际标准刊号 ISSN 1009-4369,国内统一刊号 CN 51-1594/TQ,国外发行代号 DK51013,邮发代号

62-315。2020年全年定价¥90元。国内读者可在全国各地邮局订阅(邮发代号62-315),也可直接从编辑部订阅(电话:028-85553231)。通过编辑部订阅本刊的订户,款到即开具正式发票。国外读者可通过中国出版对外贸易总公司(北京782信箱,邮编100011)订阅,国外发行代号 DK51013。

本编辑部尚存《有机硅材料》过刊以及有机硅相关资料和书籍,欢迎购买。

邮局汇款

邮编:610041

地址:四川省成都市武侯区人民南路四段30号

收件人:《有机硅材料》编辑部

银行汇款

户名:中蓝晨光化工研究设计院有限公司

开户行:成都市中国建设银行领事馆分理处

帐号:51001479066050362989

税号:915101006217016270

汇款用途:订阅2020年《有机硅材料》