

DOI: 10.19398/j.att.201709006

引用格式:张丹,陈慰来,祝国成.热定形对经编疝气补片的物理机械性能影响[J].现代纺织技术,2019,27(2):43-47.

热定形对经编疝气补片的物理机械性能影响

张 丹,陈慰来,祝国成

(浙江理工大学材料与纺织学院,杭州 310018)

摘 要:以聚丙烯切片为原料,在实验室制备的经编疝气补片在下机后卷曲度高,柔软度不足,无法满足疝气补片临床要求,为了提高经编疝气补片的机械性能,实验对经编疝气补片进行热处理,通过对比不同热定形条件下的拉伸断裂强度、顶破强力、刚柔性能、折皱回复性,开发出能满足临床物理机械性能的疝气补片。实验研究了热定形温度和时间对补片物理机械性能的影响,发现热定形条件为 135 °C、4 min,有利于改善补片的性能,解决补片在手术应用中的不足。

关键词:聚丙烯;经编疝气补片;热定形;物理机械性能

中图分类号:TS102.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-265X(2019)02-0043-05

Effect of Heat Setting on Physical and Mechanical Property of Warp Knitted Fabric for Hernia Repair

ZHANG Dan, CHEN Weilai, ZHU Guocheng

(College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The warp knitted fabric for hernia repair prepared by using polypropylene slice as the raw material has high crimpness and insufficient softness, and cannot meet clinical requirements of knitted fabric for hernia repair. To improve mechanical properties of warp knitted fabric for hernia repair, heat treatment was conducted for warp knitted fabric for hernia repair. The knitted fabric for hernia repair meeting clinical physical and mechanical properties was developed through comparing the tensile strength, bursting strength, rigid and flexible properties and wrinkle recovery under different heat setting conditions. The effect of heat setting temperature and time on the mechanical properties of the patch was studied. It was found that the best heat setting condition was 135 °C for 4 min, which could improve the performance of the patch and solve the deficiency of the patch in operation.

Key words: polypropylene; warp knitted fabric for hernia repair; heat setting; physical and mechanical property

人体内某个脏器或组织的一部分,由于先天或后天的原因,通过人体间隙、缺损或薄弱部位进入另一部位,而导致的疾病称为“疝气”^[1]。疝气是普外科的常见病和多发病之一,据相关资料显示:世界上每年约有 2 000 万例疝修补手术^[2],其中 80%的手

术需要用到疝气补片^[3]

无张力疝修补术是目前应用最广泛的疝修复手术方式,由聚丙烯单丝构成的经编针织物被广泛用作疝气补片^[4]。疝气补片植入体内的主要作用是抵抗人体内部压强,支撑新生组织,所以补片必须具有稳定的结构、足够的强度和柔软度^[5]。因此衡量修补网质量的主要物理机械性能由拉伸断裂强度、顶破强度、刚柔性能、折皱回复性等指标组成。

通过查阅资料以及与国外同类样品的比较分

收稿日期:2017-09-05 网络出版日期:2018-05-18

作者简介:张 丹(1993-),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事针织工艺及新产品方面的研究。

通信作者:陈慰来,E-mail:wlchen193@163.com

析,本文运用了三针经缎组织聚丙烯疝气补片。然而在实验室制备的聚丙烯经编疝气补片下机后卷曲度高,质感较硬,无法满足临床使用,为了提高经编疝气补片的平整度和柔软度,实验对疝气补片进行了热定形处理,研究了不同热定形温度和时间对疝气补片主要的物理机械性能的影响,并得出了最佳后整理工艺参数,有利于改善补片的性能,解决补片在手术应用中的不足。

1 试验

1.1 试验材料及仪器

试验材料:采用 20 tex 聚丙烯单丝(聚丙烯切片来自北方华锦化学工业集团有限公司,单丝由实验室自制),在 Karl Mayer HKS4 经编机上一穿一空织造经缎疝气补片。织造的经缎疝气补片基本性能如表 1 所示。

表 1 疝气补片基本性能

织物	厚度/线圈密度/(10 cm) ⁻¹		平方米质量/ (g·m ⁻²)	孔隙率/%
	mm	横密 纵密		
疝气补片	0.85	58 46	101.6	62.73

试验仪器:Pyris Diamond 差示扫描热量仪(PerkinElmer CO., LTD);Labtrc 连续式烘焙机(Newave LAB Equipments CO., LTD.);YG(B)141D 数字式织物厚度仪(温州大荣纺织仪器有限公司);高强材料万能试验机(Instron CO., LTD);LLY-01 型电子硬挺度仪(莱州市电子仪器有限公司);YG031D-500 电子强力机(温州方圆仪器有限公司);YG(B)541E 智能式织物折皱弹性仪(温州大荣纺织仪器有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 试样处理

将试验用聚丙烯单丝进行 DSC 扫描:聚丙烯单丝的结晶温度 110 °C,熔点 160 °C 左右。因此实验选取 120、125、130、135、140 °C 5 种定形温度,选择 2、4 min 两种时长,并设置空白对照。裁取 1.8 m×0.3 m 的试样,调节传送带宽度为 30 cm,将织物固定在传送带的针板上,送入 Labtrc 连续式烘焙机定形。

1.2.2 物理机械性能试验

刚柔性能:参照国家标准 ZBW 04003—1987《织物硬挺度试验方法 斜面悬臂法》,使用 LLY-01 型电子硬挺度仪,测得试样的滑出长度,并根据式(1)计算抗弯长度。折皱回复性:参照国家标准

GB/T 3819—1997《纺织品 织物折痕回复性的测定 回复角法》,采用 YG(B)541E 智能式织物折皱弹性仪进行测试。顶破强力:测试采用钢球法,参照国家标准 GB/T 19976—2005《纺织品 顶破强力的测定 钢球法》,用 YG031D-500 电子强力机进行顶破强力测试。拉伸断裂强度:用高强材料万能试验机,按照国家标准 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 条样法》进行测试。每组实验重复 5 次。

$$C = L \left\{ \frac{\cos \frac{1}{2}\theta}{8 \tan \theta} \right\}^{\frac{1}{3}} = 0.5 L \quad (1)$$

式中:C为抗弯长度,mm;L为弯曲长度,mm; θ 为仪器测量角度,为 43°。

2 结果与讨论

2.1 DSC 曲线分析

如图 1 所示,实验制备的聚丙烯单丝的结晶温度为 115.75 °C,熔融温度为 167.72 °C,比普通聚丙烯具有更高的结晶度,有利于在热定形中改善物理机械性能。根据 DSC 分析可以选择定形温度为 120~160 °C 之间,但由于实际操作中,150 °C 和 160 °C 过高,导致补片各方面性能大幅下降,因此选用的温度为 120~140 °C。

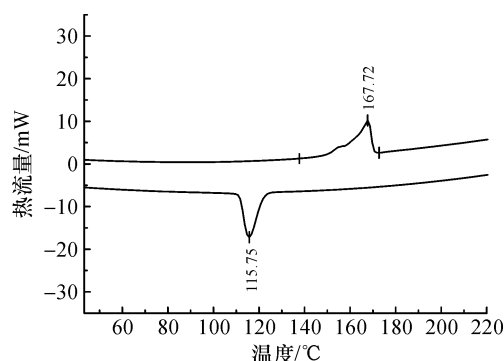


图 1 实验用聚丙烯 DSC 曲线

2.2 热定形对疝气补片基本性能的影响

厚度、织物平方米质量与各项力学性能息息相关,因此在分析热定形对各项力学性能的影响前,须对补片的厚度、平方米质量进行分析。

表 2、表 3 分别是不同热定形条件下补片的厚度、平方米质量变化表。从表 2 中可以发现定形条件的变化会改变织物厚度。在定形时间为 2 min 时,厚度随着温度的增加而减小,而在定形时间为 4 min 时,厚度先增加后减小。但与未定形的补片相比,热定形使织物厚度下降。

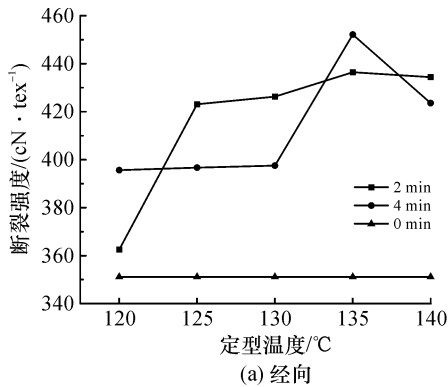
表 2 不同热定形条件下补片厚度变化 mm

时间/min	定形温度/°C				
	120	125	130	135	140
2	0.75	0.69	0.69	0.68	0.64
4	0.68	0.70	0.71	0.68	0.63

从表 3 中可以发现定形条件的变化会改变织物密度,且定形时间对织物密度的影响大于定形温度对于织物密度的影响。在定形时间相同时,织物密度随着温度的增加而增加,在定形温度相同时,织物密度随着定形时间增加而增加,呈正相关。

表 3 不同热定形条件下补片平方米质量变化

时间/min	定形温度/°C				
	120	125	130	135	140
2	99.35	103.99	104.65	106.21	107.98
4	102.66	104.21	112.25	113.67	122.66



人工材料诱发的生物反应程度取决于材料及使用量^[6],因此在临床上要求疝气补片具有“薄型、质轻”的特点,因此较好的热定形条件是 120 °C、2 min。

2.3 热定形对拉伸断裂强度的影响

图 2 是根据 Origin 软件结合 10 组拉伸断裂强度平均值绘制的不同定形时间织物经/纬向拉伸强度-温度曲线。

从图 2 中可以发现:在 120~135 °C 之间,拉伸断裂强度随着温度的升高而上升,到 135 °C 时,经向拉伸断裂强度达到最大,从微观角度而言,高分子材料在受到热及外力的作用下,其分子链的构象重新调整,内应力消除。因此,热定形工艺可改善单丝在成形过程中结构的不完善,增加线圈结构单元的稳定性;而 140 °C 时,聚丙烯开始进入熔融峰区,也就是软化点温度,分子开始变得杂乱,结晶度开始下

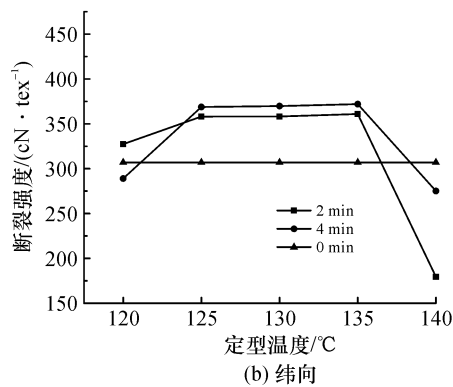


图 2 不同定形时间织物断裂强度-温度曲线

降,单丝的强力开始大幅地下降,同时单丝进一步收缩,使得织物更加紧密,织物的强力有了极大的降低;由于织物经向两边固定在针板后,送入定形设备,因此纬向定形有一定张力,其断裂强度变化比经向相对较少。

疝气补片应用于临床,需与人体腹壁生理特性相适应才能达到优良的远期临床效果。根据资料^[7],人体在跳跃时腹压最大约为 16 N/cm(即抗张强度为 170 mmHg),因此不同热定形条件下的疝气补片强度满足且远高于临床要求。

2.4 热定形对疝气补片顶破强力的影响

从图 3 中可以看出,热定形处理极大地提高了补片顶破强力,且定形温度对织物密度的影响大于定形时长对于顶破强力的影响。当温度上升到玻璃化温度以上,熔融温度以下时,随着温度的上升,聚丙烯单丝内的内应力被去除,分子链被排列成有序状态,织物整体的紧密程度大幅地增加,内应力有了

进一步的释放,织物的顶破强力有了很大的提高。从图 3 中看出,135 °C、4 min 的热定形条件下,两者作用达到最佳,顶破强力为 619.5 N。

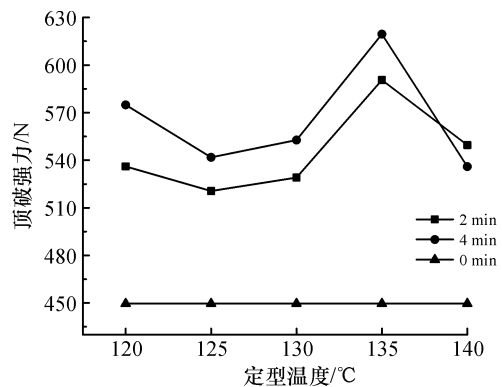


图 3 不同定形时间织物顶破强力-温度曲线

疝气补片作为修复人体组织缺损的“补丁”,要能够承受腹腔内某一时段内某一股集中性腹压的顶、压作用,避免扩张至破裂导致疝气原位复发。而

织物在扩张至破裂所承受的力就是顶破强力。根据拉普拉斯定律认为腹壁理论最大抗张强度范围为 11~27 N/cm,对于极限情况如 30 kPa 腹压下的肥胖患者,其最大抗张强度也可达 47.8 N/cm^[8],不同定形条件下的该疝气补片都能达到要求。

2.5 热定形对疝气补片刚柔性能的影响

疝气补片需要伏贴在人体组织上,应具备较柔软的性能,即抗弯长度应较小。因为未定形的织物卷曲

度过高,无法测试硬挺度,因此本试验未设置对照组。

从图 4 中可以看出:定形温度的对于补片的刚柔性能的影响力大于定形时间。相同的定形时间,在 120~135 °C 之间,经编聚丙烯疝气补片的抗弯长度基本随定形温度的上升而减小。结合 DSC 曲线可以发现,140 °C 时,DSC 曲线开始上升,进入放热区,结晶的部分开始熔融,冷却后织物收缩,导致厚度和密度增加,织物变得硬挺。

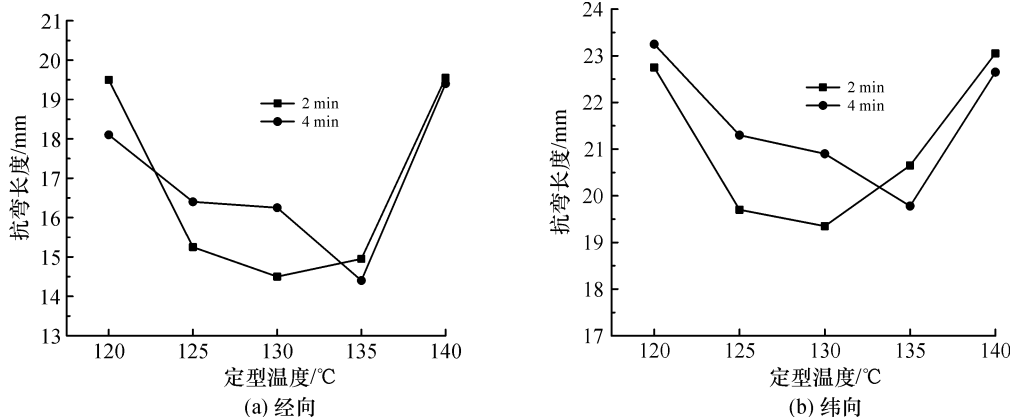


图 4 不同定形时间织物抗弯长度-温度曲线

试样在 130 °C、2 min,135 °C、4 min 两组定形条件下,抗弯长度较小,柔软度最佳;在 140 °C、2 min 的情况下,试样的抗弯长度最大,柔软度最差。临床应用结果表明,较柔软的网状物比刚性网状物更能附着贴合受损组织,对疝气修补的手术治疗效果更好。

2.6 热定形对疝气补片折皱回复性的影响

试样的折皱回复性用急弹性回复角和缓弹性回复角来表示,急弹性回复角和缓弹性回复角越大,表明织物的折皱回复能力越强。测试时,急弹性变形

传播时间非常短,几乎是瞬时的,而缓弹性变形发展速度相对较缓慢,这是由于纤维的松弛和纤维间的滑移错位。急弹性回复角和缓弹性回复角呈正相关,因此本文只用经、纬向缓弹性角平均值来表示织物的折皱回复性。图 5 是不同方向、不同定形时间织物折皱回复角-温度曲线,从图 5 中可以看出,120 °C 和 125 °C 时,补片的折皱回复性较好;130 °C 和 140 °C 时,折皱回复性较差;而 135 °C 时,经向折皱回复性差,纬向回复性好,且经纬缓弹性角度相近。

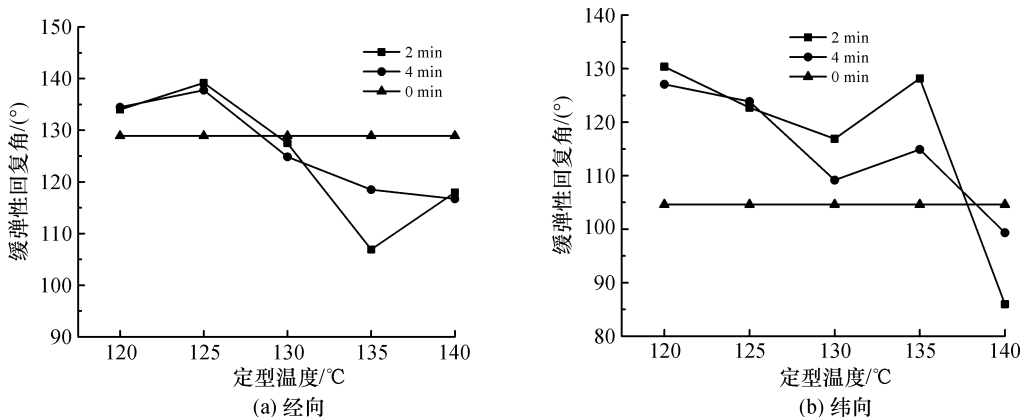


图 5 不同方向、不同定形时间织物折皱回复角-温度曲线

折皱回复性与织物刚柔性具有一定的联系,一般织物越柔软,织物的弹性回复性相对较差,因此折皱回复性也较差,但当织物紧度达到一定程度时,织物变得硬板,折皱回复性就会下降。因此就需要平衡刚柔性能和折皱回复性,根据补片最需要的特性选择合适的定形条件。

拉伸强度和顶破强力疝气是补片的基本性能,弯曲刚度是疝气补片的关键性能,而折皱回复性是重要性能。临床应用结果表明,较柔软的网状物比刚性网状物更能附着贴合受损组织,对疝气修补的手术治疗效果更好。因此在满足拉伸强度和顶破强力的前提下,以弯曲刚度为主,折皱回复性为辅,得出最佳综合力学性能的热定形工艺为 135 °C、4 min。

3 结 论

将聚丙烯疝气补片在 120、125、130、135、140 °C 5 种定形温度和 2、4 min 两种定形时间组合的十组条件下进行热定形处理,对比分析不同温度、不同时间对织物性能的影响,可以得出以下结论:

a) 热定形是有效改变经编疝气补片织物力学性能的方法,能极大的改善织物的拉伸断裂强力,顶破强力,提高织物柔软度。

b) 人体在跳跃时腹压最大约为 16 N/cm,不同热定形条件下的补片强度都能高于该腹压。极限情况下抗张强度可达 47.8 N/cm,不同热定形条件下的该补片顶破强力都高于此抗张强度。

c) 根据临床应用结果,较柔软的网状物比刚性网状物更能附着贴合受损组织,对疝气修补的手术治疗

效果更好。试样在 130 °C、2 min, 135 °C、4 min 两组定形条件下,柔软度最佳;在 140 °C、2 min 的情况下,柔软度最差。

d) 当热定形工艺参数为 140 °C、4 min 时,疝气补片的综合物理机械性能最差。当热定形工艺参数为 135 °C、4 min,疝气补片的综合物理机械性能最佳。

参考文献:

- [1] 牛俊功,孙卫东,王麦红,等. 成人疝 600 例修补术式观察[J]. 基层医学论坛, 2009(26): 857-858.
- [2] KINGSNORT A, LEBLANC K. Hernias: inguinal and incisional [J]. The Lancet, 2003, 362(9395): 1561-1571.
- [3] WAHBA M. Evaluation of lightweight polypropylene mesh in stoppa pre-peritoneal repair of bilateral inguinal hernias. [J]. American Scientist, 2014, 10: 116-124.
- [4] MIRJAVAN M, ASAYESH A, JEDDI A A. The effect of fabric structure on the mechanical properties of warp knitted surgical mesh for hernia repair[J]. Journal Of the Mechanical Behavior Of Biomedical Materials, 2017, 66: 77-86.
- [5] 邢智凯. 聚丙烯单丝经编(疝)修补网片的工艺探讨及后整理性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2010.
- [6] 邹云东. 补片材料修补腹股沟疝的生物相容性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(19): 3705-3708.
- [7] KLINGE U, CONZ J, LIMBERG W, et al. Pathophysiology of the abdominal wall [J]. Der Chirurg; Zeitschrift fur alle Gebiete der operativen Medizin, 1996, 67(3): 229-233.
- [8] 苗琳莉. 经编组织疝修复平片与三维补片的结构及力学性能[D]. 上海: 东华大学, 2016.