

# 制作颊侧多曲簧的牙用不锈钢丝的性能分析

史雅绒<sup>1</sup>,王培军<sup>1</sup>,徐实谦<sup>2</sup>,石瑛琦<sup>1</sup>,陈 萍<sup>1</sup>,侯 录<sup>1</sup>

(1.哈尔滨医科大学附属第二医院口腔正畸科,黑龙江 哈尔滨 150081;

2.哈尔滨工业大学材料科学与工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**目的 通过测试并比较 480℃加热退火处理的四种不同品牌,直径为  $\phi 0.8$  mm 牙用不锈钢丝的电镜断口形貌和拉伸断裂机制,为临床选用适宜的牙用不锈钢丝制备颊侧多曲簧提供一定的参考。方法 选用弯制颊侧多曲簧的直径为  $\phi 0.8$  mm 的上齿牌、上海康桥牌、锋棱牌、上海荣祥牌的牙用不锈钢丝,应用万能拉伸仪测量比较四种材料 480℃加热退火后的拉伸试验、金相组织微观测试及 EDX 能谱分析。结果 四种不同品牌的牙用不锈钢丝在 480℃加热退火处理下,直径为  $\phi 0.8$  mm 锋棱牌牙用不锈钢丝拉伸能力最好,电镜观察见韧窝大小不一,深浅有别,Ni 含量最高,更适合临床弯制颊侧多曲簧。结论 直径为  $\phi 0.8$  mm 锋棱牌牙用不锈钢丝较其他品牌牙用不锈钢丝,更适合弯制颊侧多曲簧,可考虑临床应用。

**关键词:**  $\phi 0.8$  mm 牙用不锈钢丝;颊侧多曲簧;力学性能

中图分类号:R783

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1006-1959.2019.06.028

文章编号:1006-1959(2019)06-0089-05

## Performance Analysis of Dental Stainless Steel Wire for Making Buccal Multi-curved Spring

SHI Ya-rong<sup>1</sup>,WANG Pei-jun<sup>1</sup>,XU Shi-qian<sup>2</sup>,SHI Ying-qi<sup>1</sup>,CHEN Ping<sup>1</sup>,HOU Lu<sup>1</sup>

(1.Department of Orthodontics,the Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University,Harbin 150081,Heilongjiang,China;

2.School of Materials Science and Engineering,Harbin Institute of Technology,Harbin 150001,Heilongjiang,China)

**Abstract:**Objective To test and compare the electron microscopic fracture morphology and tensile fracture mechanism of four different brands of dental stainless steel wire with diameter  $\phi 0.8$  mm heated and annealed at 480℃, and prepare the buccal multi-curve for the clinical selection of dental stainless steel wire. The spring provides a certain reference. Methods The upper teeth of the curved cheek side multi-curved spring with diameter  $\phi 0.8$  mm, Shanghai Kangqiao brand, Fengling brand, Shanghai Rongxiang brand dental stainless steel wire were selected, and the four materials 480℃ were measured by universal tensile tester. Tensile test after heating and annealing, metallographic microstructure microscopic test and EDX spectrum analysis. Results Four different brands of dental stainless steel wire were heated and annealed at 480℃. The diameter of  $\phi 0.8$  mm was the best for the stainless steel wire. The electron microscopic observation showed that the dimples were different in size and different in depth. The highest Ni content is more suitable for clinically curved buccal multi-curved springs. Conclusion The  $\phi 0.8$  mm diameter ribbed stainless steel wire is more suitable for bending the buccal multi-curved spring than other brands of dental stainless steel wire, which can be considered for clinical application.

**Key words:**  $\phi 0.8$  mm dental stainless steel wire;Buccal multi-curved spring;Mechanical properties

临床应用的颊侧多曲簧活动矫治器是一种有效治疗乳、替牙期 Angle Ⅲ类错颌及牙性、骨性偏颌畸形的活动矫治器<sup>[1-3]</sup>,可促进上颌向前发育,抑制下颌生长,可导致下颌功能性后退。相比较于传统活动矫治器,颊侧多曲簧活动矫治器在发挥功能矫治器作用的同时,还附加了颊侧多曲簧的机械力量。矫治器通过上、下颌托将上颌和下颌形成一个整体<sup>[4]</sup>,以颊侧多曲簧的弹力形成近远中方向颌间交互支抗作用力,不仅作用于某一个牙齿,而是对上、下颌牙列整体同时作用<sup>[5]</sup>。但在临床应用中我们发现,因不锈钢曲簧丝的材质特性,在患儿佩戴过程中,颊侧多曲簧在口内开闭口循环应力作用下常出现疲劳断裂现象,而重新制作还要耗费大量时间,这一现象便中断了矫治的连接性,延长了矫治疗程,增加了患儿及家长的复诊次数,同时也增加了医生和技师的工作时间和劳动量。目前市场上有多种品牌的牙用不锈钢丝材料,从外观上我们无法判断其材质在弯制颊侧多曲簧时所产生的优劣。就这种情况,我们选用市

场上常用的直径为  $\phi 0.8$  mm 的上齿牌、上海康桥牌、锋棱牌、上海荣祥牌的牙用不锈钢丝,应用万能拉伸测力仪测量比较四种材料 480℃加热退火处理后的拉伸试验、电镜扫描断口形貌试验及能谱分析,为临床选用适宜的不锈钢丝材料制备颊侧多曲簧提供指导。

### 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 四种不同品牌(上齿牌、上海康桥牌、锋棱牌、上海荣祥牌)的牙用不锈钢丝,直径均为  $\phi 0.8$  mm。本研究独立完成,与相关公司无商业利益关系。

**1.2 主要设备及仪器** 管式真空加热炉(加热温度范围 800℃,控温 $\pm 0.5$ ℃)、万能拉伸测力机 INSTRN-5569 型,US/FEITMHeliosNanolab600i 电子/离子双束系统 S-4700 扫描电镜、喷金设备。

**1.2.1 管式真空加热炉** ①组成:真空泵、真空管路系统、加热陶瓷管、绝缘蓝板、氮气罐、高压阀、电控系统,见图 1。②工作程序:先将需要真空热处理的品牌的牙用不锈钢样本放置于管式真空加热炉中,接真空泵并设置加热温度(480℃),设置真空度为 0.1 Pa,在真空度为 0.1 Pa 的基础上进行加热,同时充入氦气等惰性气体,防止国产医用不锈钢丝被

作者简介:史雅绒(1992.1-),女,陕西榆林人,硕士,主要从事口腔正畸方向的研究

通讯作者:王培军(1965.4-),男,黑龙江双鸭山人,博士,主任医师,党委副书记,主要从事口腔正畸方向的研究

氧化。升温速率  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , 升温到规定温度后, 保温 30 min, 随炉冷却至室温, 取出待用。



图 1 管式真空加热炉

**1.2.2 万能拉伸测力仪 INSTRN-5569 型** ①组成: 固定端夹头、拉伸移动(沿中心线上、下移动)、驱动装置、控制系统、电脑, 见图 2。②工作程序: 将加热处理后不同品牌的牙用不锈钢丝两端夹紧至固定端、移动端的夹头上, 做拉伸试验, 电脑记录力值变化规律。拉伸力学性能测试: 选取等长的直径为  $\phi 0.8\text{ mm}$  四种不同品牌的牙用不锈钢丝各 10 根, 并检查不锈钢丝表面无裂痕、划痕及其他缺损。利用万能拉伸测力仪, 拉伸速度为  $2\text{ mm}/\text{min}$ , 绘制应力-应变曲线和弹性模量柱状图, 观察四种品牌牙用不锈钢丝的弹性模量(单位:  $\text{N}/\text{mm}^2$ )和拉伸强度(单位:  $\text{MPa}$ ), 其中弹性模量指材料在弹性变形阶段内, 正应力和对应的正应变的比值, 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标; 拉伸强度是指在试件受力过程中所能承受的最大应力值; 弹性模量、拉伸强度可视为衡量材料产生弹性形变难易程度的指标。



图 2 万能拉伸测力仪

**1.2.3 SEITM Helios Nanolab600i 电子/离子双束系统 s-4700 扫描电镜**(哈尔滨工业大学分析测试中心电镜室), 见图 3。①从每组试样中, 选取拉伸断裂时间最短的试样各 1 个, 根据试样所在组别的序号, 分别编号为: 试样-1、试样-2、试样-3、试样-4(上齿牌不锈钢丝、上海康桥牌不锈钢丝、锋棱牌不锈钢丝、上海荣祥牌不锈钢丝)。先用 95%酒精超声波清洗后, 用电热吹风机吹干。对四种试样断口做喷金处理, 观察每个断口的形貌特征变化规律。②通过

EDS 能谱仪对弯制颊侧多曲簧牙用不锈钢丝的材质进行分析。

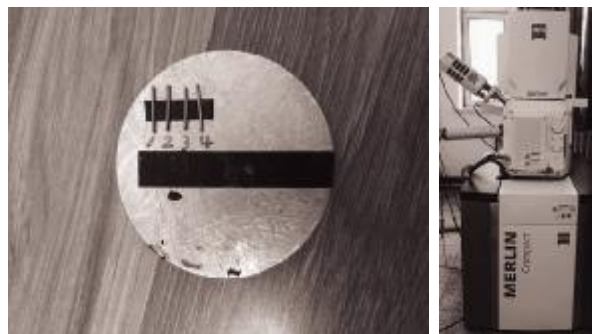


图 3 扫描电镜(带能谱仪)

**1.3 统计学分析** 使用 SPSS 24.0 软件包进行统计处理, 计量资料以  $(\bar{x} \pm s)$  表示, 四组数据差异比较采用单因素方差分析,  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 制作颊侧多曲簧的四种不同品牌的牙用不锈钢丝拉伸断裂数据** 试样-1、2、3、4 在力学性能方面比较, 差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 见图 4~图 8, 表 1。

**2.2 制作颊侧多曲簧的四种不同品牌的牙用不锈钢丝金相组织微观测试** 由电镜图像(图 9~图 12)可观察到试样-1~试样-4 拉伸断面形貌特征: 由图 A 可见四种不同品牌的牙用不锈钢丝的断口形貌均为韧窝型断口, 单一奥氏体, 试样-3 奥氏体晶粒较试样-1、2、4 均匀、致密, 钢丝的超细化晶粒能有效提高组织的强韧性, 从而提高钢丝的抗疲劳性能, 力学性能好。由图 B 可见裂纹源、裂纹扩展和疲劳瞬断裂区三个区, 均为典型的疲劳断口形貌。由图 C 可见裂纹源区疲劳断口形貌可明显发现裂纹源。其裂纹源均发生于试样表面, 即在牙用不锈钢丝拉伸到极限时引起的断裂。扩展区断口形貌以裂纹源为起点的放射状扩展区; 可见裂纹扩展区的拉伸条纹, 拉伸条纹的间距代表了在该应力状态下, 应力周期所造成的裂纹扩展量, 试样-3 条纹间距较试样-1、2、4 小, 试样-3 条带密度较试样-1、2、4 高(图 11)。垂直于拉伸条纹的方向代表裂纹扩展的方向。拉伸裂纹的扩展过程是一个不断减小材料承载能力的过程。

**2.3 制作颊侧多曲簧的四种不同品牌的牙用不锈钢丝的能谱分析** 由能谱分析(图 13~图 16)结果可知, 四种牙用不锈钢丝成分均为  $1\text{Cr}18\text{Ni}9$ , 无大的差异。其中铬(Cr)是不锈钢, 耐热钢的重要合金元素。Cr 加入钢中能显著改善钢的抗氧化作用, 增加钢的抗腐蚀能力, 提高强度、硬度及耐磨性<sup>[9]</sup>, 但同时降低塑性和韧性。镍(Ni)能提高钢的强度, 而又保持良好的塑性和韧性。四种不锈钢丝镍的含量中, 试样-3 比其他试样牙用不锈钢丝含量高, 因而试样-3 牙用不锈钢丝的强度高于其他牙用不锈钢丝, 耐疲劳性能稍优于其他牙用不锈钢丝弯制的颊侧多曲簧。

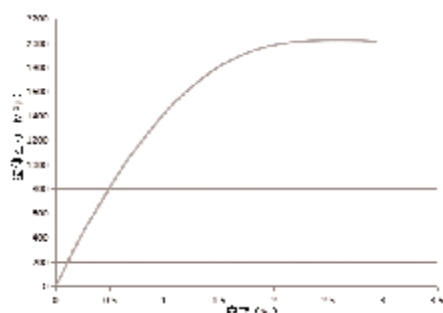


图 4 试样-1 拉伸曲线

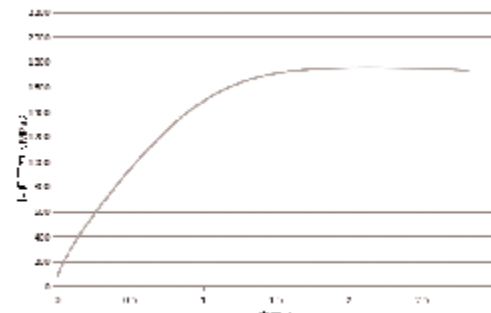


图 5 试样-2 拉伸曲线

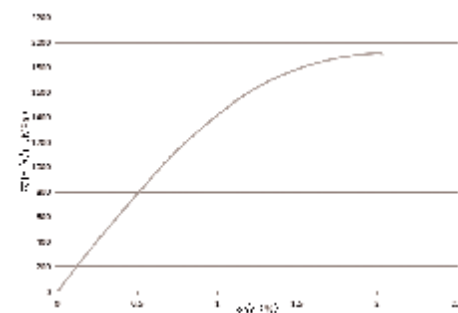


图 6 试样-3 拉伸曲线

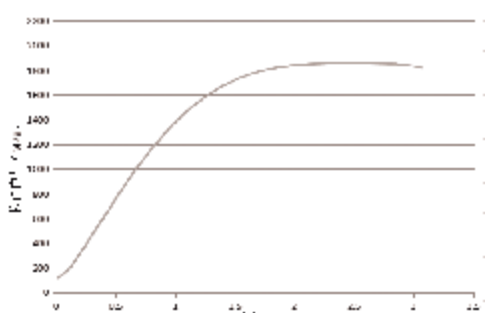


图 7 试样-4 拉伸曲线

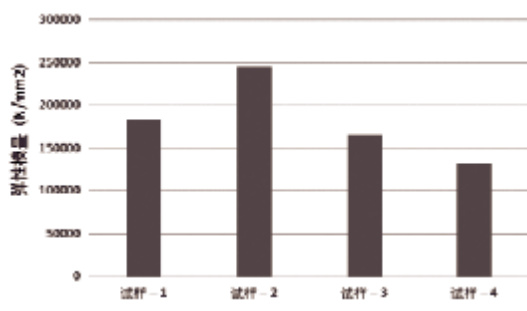
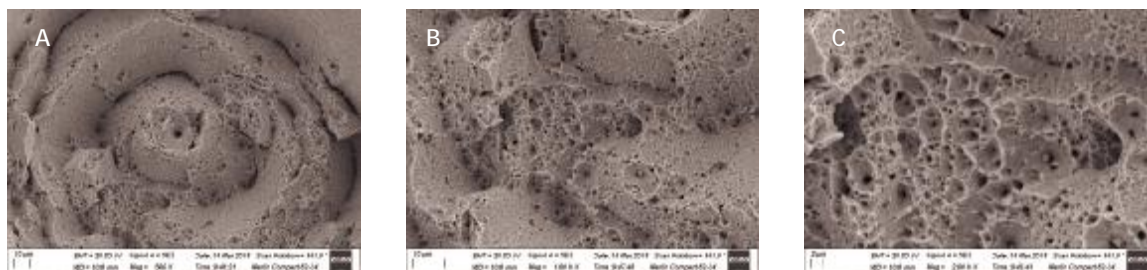


图 8 不同品牌弹性模量图

表 1 不同品牌力学性能试验结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

试样	弹性模量 (N/mm <sup>2</sup> )	拉伸强度 (MPa)
1	195430.567±2646.92077	2017.8730±4.04942
2	222199.969±5351.71321	1754.7130±2.58692
3	185202.678±3795.22420	1914.5570±3.50100
4	158433.332±5020.87602	1854.9420±2.96556



注:A:牙用不锈钢丝放大 500 倍的电镜图像;B:牙用不锈钢丝放大 1000 倍的电镜图像;C:牙用不锈钢丝放大 2000 倍的电镜图像

图 9 试样-1 断口形貌



注:A:牙用不锈钢丝放大 500 倍的电镜图像;B:牙用不锈钢丝放大 1000 倍的电镜图像;C:牙用不锈钢丝放大 2000 倍的电镜图像

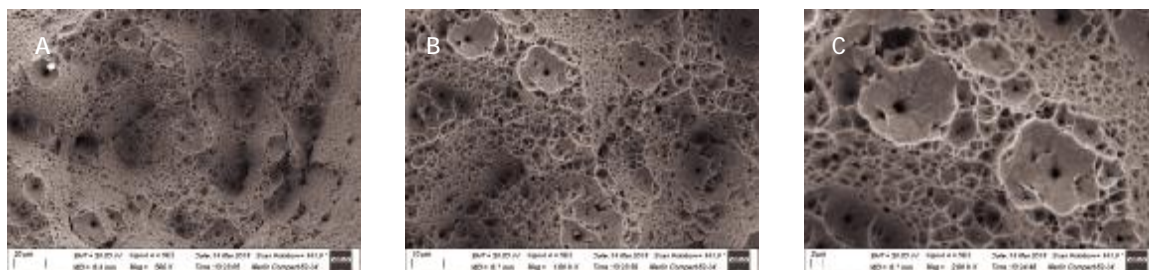
图 10 试样-2 断口形貌





注:A:牙用不锈钢丝放大 500 倍的电镜图像;B:牙用不锈钢丝放大 1000 倍的电镜图像;C:牙用不锈钢丝放大 2000 倍的电镜图像

图 11 试样-3 断口形貌



注:A:牙用不锈钢丝放大 500 倍的电镜图像;B:牙用不锈钢丝放大 1000 倍的电镜图像;C:牙用不锈钢丝放大 2000 倍的电镜图像

图 12 试样-4 断口形貌

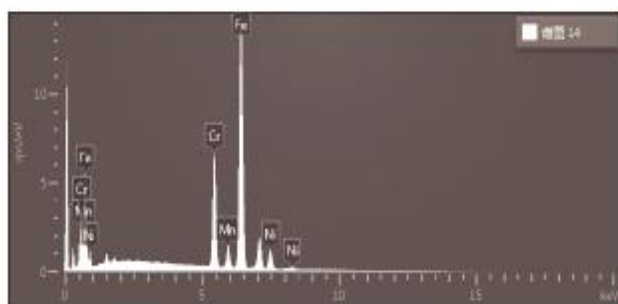


图 13 试样-1 1Cr18Ni9 不锈钢化学成分

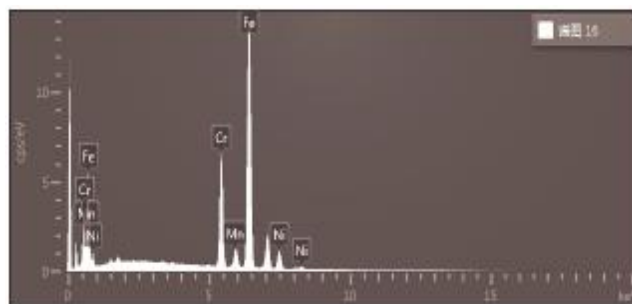


图 14 试样-2 1Cr18Ni9 不锈钢化学成分

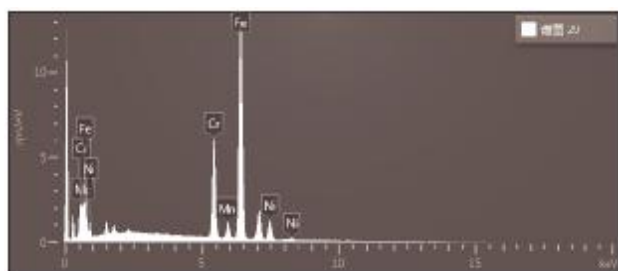


图 15 试样-3 1Cr18Ni9 不锈钢化学成分

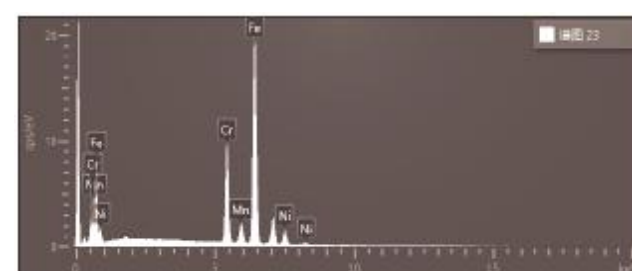


图 16 试样-4 1Cr18Ni9 不锈钢化学成分

### 3 讨论

以治疗安氏Ⅲ类错颌畸形为主的颊侧多曲簧矫治器现已广泛应用于临床,在临床应用的几年来,取得很好的效果,但因为多曲簧断裂问题给临床工作带来不便。故我们期望一种较好的材料来制作颊侧多曲簧,为临床提供便利。

四种不同品牌的牙用不锈钢丝在 480℃加热退火处理下,通过拉伸实验的应力-应变曲线可知,试样-1、3 的弹性模量比试样-2 小,比试样-4 大。弹性模量越大,刚度越大,抵抗弹性变形的能力越强,弹性模量越小,刚度越小,抵抗弹性变形的能力越弱,应力值越大,使材料发生一定弹性形变的应力也越

大,试样-1 应力值最大,试样-2 应力值最小,试样-3、4 应力值介于两者之间,制作颊侧多曲簧要求牙用不锈钢材料既要有一定的弹性同时需要有一定的强度。通过能谱分析 SEM 电镜观察分析知,试样-1、2、3、4 国产牙用不锈钢丝材质均为 0Cr18Ni9 单相奥氏体不锈钢韧窝型结构(蜂窝状),国产不锈钢丝金属材料的断口形貌在电镜低倍下观察不同品牌的牙用不锈钢丝断口形貌相近,均为不锈钢丝拉伸断口形貌,可呈现共同特征区,如明显的裂纹源、裂纹扩展和瞬裂三个区。根据电镜观察见试样-3 韧窝大小不一,深浅有别,Ni 含量最高,故试样-3 更适合临床弯制颊侧多曲簧。

当然,断裂不仅与微应力集中系数有关,而且还和材料本身的特性及表面缺陷根部半径有关<sup>[6-9]</sup>,断裂总是起源于微裂纹处,这些裂纹有的是材料本身的冶金缺陷,有的是加工制作过程中产生,有的则是使用过程中产生的。应力幅值、平均应力大小和循环次数是影响金属断裂的三个主要因素<sup>[10]</sup>。金属内部结构并不均匀,从而造成应力传递的不平衡,有的地方会成为应力集中区。与此同时,金属内部的缺陷处还存在许多微小的裂纹。在力的持续作用下,裂纹会越来越大,形成裂纹扩展区。材料中能够传递应力部分越来越小,直至剩余部分不能继续传递负载时,金属就会出现断裂<sup>[10,11]</sup>,因此表面微缺陷的根部半径在决定表面形貌的疲劳性能方面也发挥着很重要的作用。

通过研究比较制作颊侧多曲簧不同品牌国产牙用不锈钢丝通过拉伸实验及微观测试分析知,直径为  $\phi 0.8\text{ mm}$  锋棱牌牙用不锈钢较细小致密、韧性好、强度高、抗疲劳性能优于其他国产牙用不锈钢丝,是弯制颊侧多曲簧比较理想的材料。

#### 参考文献:

[1]刘潇遥,王培军,徐实谦,等.正畸用颊侧多曲簧双侧矫治力

的实验研究[J].医学信息,2018,31(14):85-87,91.

[2]徐舰,王培军,徐实谦,等.颊侧多曲簧对牙列两侧产生矫治力的对比研究[J].医学信息,2018,31(13):156-159.

[3]侯录,徐实谦.颊侧多曲簧矫治器及颊侧多曲簧胎具,ZL200620021913.2 中华人民共和国国家知识产权局(证书):第 965078 号.

[4]张婉楠,侯录,徐实谦.颊侧多曲簧活动矫治临床应用中的生物学效应[J].中国组织工程研究,2014,18(8):1277-1282.

[5]段银钟.安氏Ⅲ类错殆正畸诊断与治疗[M].北京:人民军医出版社,2014:2-6.

[6]陈治清.口腔材料学[M].第 3 版.北京:人民卫生出版社,2003:15,22,151.

[7]高晓哲.预拉伸奥氏体不锈钢(S30408)组合焊焊接接头低温力学性能研究[D].浙江大学,2017.

[8]王韶华,沈翔,国栋,等.含 Cr 合金化钢组织及性能分析[J].河北工业科技,2018,35(6):421-425.

[9]张云龙,王玉强,王爱玲.影响钢管 3PE 防腐层离线拉伸试验结果的因素分析[J].钢管,2018,47(3):61-65.

[10]薛河,李凯,王帅,等.冷加工过程中 316L 奥氏体不锈钢硬度压痕尺寸效应分析[J].中国机械工程,2019(1):105-112.

收稿日期:2019-1-6;修回日期:2019-1-14

编辑/杨倩