

加工工艺对0Cr18Ni10Ti不锈钢管 高温拉伸性能的影响

Effect of Processing Technology on High Temperature Tensile Properties of 0Cr18Ni10Ti Stainless Steel Tube

供稿|赵林科^{1,2,3}, 于军辉^{1,2,3}, 李小小^{1,2,3} / ZHAO Lin-ke^{1,2,3}, YU Jun-hui^{1,2,3}, LI Xiao-ning^{1,2,3}

内 容 导 读

文章研究了拉拔变形量、固溶温度及矫直次数对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响。结果表明：随着拉拔变形量的增大，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的屈服强度和抗拉强度明显降低，延伸率显著升高；随着固溶温度的升高，0Cr18Ni10Ti不锈钢管抗拉强度先升高后降低，屈服强度升高，延伸率降低；随着矫直次数的增加，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温抗拉强度先降低后变化不大，高温屈服强度略有升高，延伸率变化不大。

0Cr18Ni10Ti不锈钢属于Cr-Ni奥氏体不锈钢系列，不仅具有优良的抗氧化性和耐腐蚀性能，还具有优异的高温力学性能，在核反应堆的结构件中得到了广泛应用。目前，国内外学者对0Cr18Ni10Ti不锈钢进行了大量的研究。罗通伟^[1]介绍了TiN对0Cr18Ni10Ti的耐腐蚀性能具有不利的影响，提出了通过选择适宜的原辅材料、冶炼工艺流程及工艺参数可有效降低钢中TiN含量。傅前进^[2]等针对0Cr18Ni10Ti不锈钢的锻造变形、加热温度进行了研究，确定了采用稳定化处理+中低温锻造变形+静态再结晶细化晶粒的方法可有效的提高材料的抗拉强度。余志川^[3]认为提高 α 相含量和冷轧变形量可有效的提高管材高温拉伸性能。马胜斌^[4]认为对0Cr18Ni10Ti不锈钢中的化学成分、 α 相和晶粒度进

行控制，可有效的提高高温拉伸性能。王学鹏和石国发^[5]研究了0Cr18Ni10Ti不锈钢在固溶中保温温度和保温时间对力学性能的影响，最终获得非比例延伸强度和抗拉强度随温度变化的规律。

高温拉伸性能是0Cr18Ni10Ti的基本性能之一， $f10\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$ 的0Cr18Ni10Ti不锈钢管常被作为核反应堆控制棒包壳，反应堆中高温高压的环境对其高温力学性能提出了较高的要求，间接评价了0Cr18Ni10Ti不锈钢堆内运行的可靠性，因此开展0Cr18Ni10Ti不锈钢包壳管高温拉伸性能的课题是目前核材料工作者研究的热点之一。有关加工工艺对0Cr18Ni10Ti不锈钢管高温拉伸性能的影响目前尚未报道，本文研究了变形量、固溶温度及矫直次数对0Cr18Ni10Ti不锈钢管高温拉伸性能的影响，为核材

作者单位：1. 国核宝钛铝业股份公司，陕西 宝鸡 721013；2. 国家能源核级锆材研发中心，陕西 宝鸡 721013；3. 陕西省核级锆材重点实验室，陕西 宝鸡 721013

料的理论和实践提供了基础数据。

实验方法

实验材料为0Cr18Ni10Ti不锈钢包壳管，其化学成分如表1所示。由管坯(f19 mm×1.2 mm)依次经过轧制、除油、固溶、拉拔、矫直、抛光及酸洗加

工至成品管材(f10 mm×0.5 mm)。拉拔变形量分别为8%、10%及13%，固溶温度分别为1020、1040及1060℃，分别进行一次和二次矫直。对以上不同加工工艺的材料进行高温拉伸实验，为保证实验的可靠性，每组实验均进行3次重复实验，取平均值作为材料的拉伸性能。

表1 0Cr18Ni10Ti不锈钢主要化学成分(质量分数, %)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Co	B
含量	≤0.08	≤0.08	≤2.00	≤0.03	≤0.020	17.00~19.00	9.00~12.00	5C~0.7	≤0.08	≤0.0018

实验结果与分析

拉拔变形量对高温拉伸性能的影响

图1为拉拔变形量对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响关系图。从图1可见，随着拉拔变形的增加，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温屈服强度和抗拉强度显著降低，而高温延伸率明显升高。0Cr18Ni10Ti不锈钢是Fe-Cr系奥氏体不锈钢，该钢通过添加了Ti元素从而形成TiC和TiN相来强化钢的力学性能。随着变形量的增大，钢中TiC和TiN相的析出更加困难，导致TiC和TiN相的强化作用减弱，因此屈服强度和抗拉强度显著降低，延伸率明显升高^[1-4]。

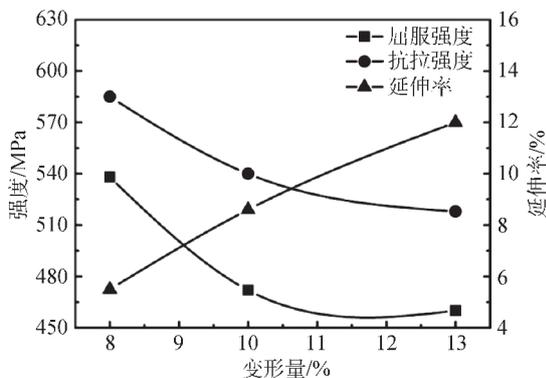


图1 拉拔变形量对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响

固溶温度对高温拉伸性能的影响

图2为固溶温度对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响关系图。随着固溶温度的升高，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温抗拉强度先升高后降低，屈服强度升高，延伸率降低。这是由于在

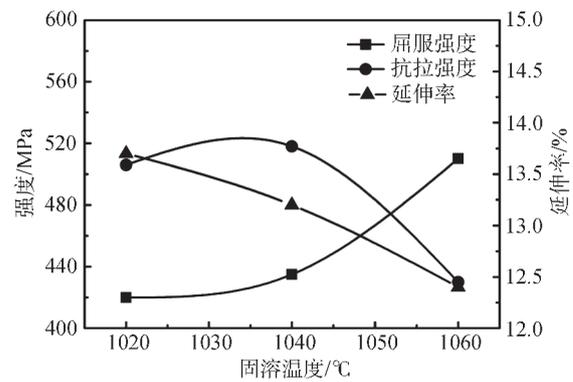


图2 固溶温度对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响

1020~1040℃固溶温度时，0Cr18Ni10Ti不锈钢中析出的TiN和TiC二次粒子数量较多，该粒子弥散分布在晶内和晶界处，具有强化的效果，所以抗拉强度和屈服强度升高，延伸率降低；随着固溶温度的升高，即在1040~1060℃时，钢中原有析出的TiN和TiC二次相会逐渐溶解于奥氏体中，从而造成钢的抗拉强度显著下降^[3-8]，而1040~1060℃之间不锈钢的屈服强度和延伸率的变化规律有待进一步研究。

矫直次数对高温拉伸性能的影响

图3为矫直次数对0Cr18Ni10Ti不锈钢管的320℃高温拉伸性能的影响关系图。从图3中可见，随着矫直次数的增加，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温抗拉强度先降低后变化不大，高温屈服强度略有升高，延伸率变化不大。0Cr18Ni10Ti不锈钢管矫直的目的主要为提高钢管的直线度，对于管材局部尺寸偏大处采用压力方法进行调整确保0Cr18Ni10Ti不锈钢管的外径尺寸达到要求。由于只是对钢管尺寸进行微调，即钢的变形量变化不大，所以钢的高温延

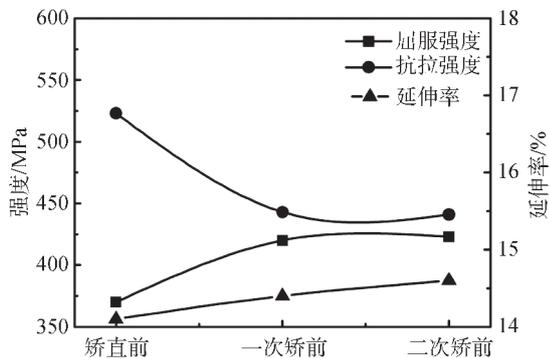


图3 矫直次数对0Cr18Ni10Ti不锈钢管320℃高温拉伸性能的影响

伸率变化不大，而屈服强度略有升高。钢在二次矫直后，抗拉强度变化不大，而对于一次矫直后，0Cr18Ni10Ti不锈钢的抗拉强度明显降低的趋势有待进一步研究。

结论

通过对不同拉拔变形量、不同固溶温度、不同矫直次数加工的0Cr18Ni10Ti不锈钢包壳管320℃高温拉伸性能的测试，摸索了加工工艺对0Cr18Ni10Ti不锈钢管高温力学性能的影响规律：随着拉拔变形量的增大，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温拉伸屈服强度和抗拉强度明显降低，延伸率显著升高；随着固

溶温度的升高，0Cr18Ni10Ti不锈钢管高温抗拉强度先升高后降低，屈服强度升高，延伸率降低；随着矫直次数的增加，0Cr18Ni10Ti不锈钢管的高温抗拉强度先降低后变化不大，高温屈服强度略有升高，延伸率变化不大。

参考文献

- [1] 罗通伟. 0Cr18Ni10Ti钢中TiN夹杂物的危害及应对措施. 特钢技术, 2014(3): 1
- [2] 傅前进, 刘波, 张思清, 等. 0Cr18Ni10Ti钢锻造工艺研究. 大型铸锻件, 2001(4): 3
- [3] 余志川. 0Cr18Ni10Ti管材350℃性能问题探讨. 特钢技术, 2015(3): 11
- [4] 马胜斌. 0Cr18Ni10Ti中温(350℃)性能探讨. 特钢技术, 2013(4): 24
- [5] 王学鹏, 石国发. 大型电机材料0Cr18Ni10Ti不锈钢的高温力学性能. 理化检验-物理分册, 2016, 52(3): 159
- [6] 罗毅军. 反应堆冷却剂主管道316LN新型管材替代321管材的可行性研究. 核动力工程, 2013, 34(5): 80
- [7] 吴杰. 关于0Cr18Ni10Ti钢高温R_(P0.2)数据异常的分析. 特钢技术, 2013(2): 56
- [8] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题. 北京: 冶金工业出版社, 2006

作者简介: 赵林科(1983—), 男, 陕西宝鸡人, 工程师。主要研究方向: 核级锆材加工工艺。E-mail: zhaolinke@163.com。



摄影 贾大庸