高钢级管线钢微观组织特征与强韧性能关系的研究及展望*

仝 珂,庄传晶,朱丽霞,李 洋,瞿婷婷,邵晓东

(中国石油天然气集团公司管材研究所,西安 710065)

摘要 随着油气管道建设的快速发展,高钢级管线钢强度水平有了显著提高,但是获得优良的强韧性匹配显得尤为重要。影响管线钢强韧性能的主要因素在于其内部微观组织特征。综述了国内外管线钢微观组织特征(晶粒尺寸、非金属夹杂物、带状组织)的研究现状,分析了以往工作在管线钢微观组织特征与强韧性能关系研究的局限性。在此基础上,提出了采用电子背散射衍射技术和原位观测技术,研究了有效晶粒尺寸的表征方法及夹杂物和带状组织的微观力学行为的解决方案,并讨论了该方案的必要性和可行性。

关键词 高钢级管线钢 微观组织 强韧性 电子背散射衍射 原位观测

中图分类号:TG113.2;TG115 **文献标识码**:A

Research and Prospect on Relationship between Microstructure Characteristic and Strength-toughness of High Grade Pipeline Steel

TONG Ke, ZHUANG Chuanjing, ZHU Lixia, LI Yang, QU Tingting, SHAO Xiaodong

(Tubular Goods Resarch Center of CNPC, Xi'an 710065)

Abstract The strength property of high grade pipeline steel has been obviously improved with the rapid development of the constructing of oil and gas pipelines. And the excellent strength-toughness match of pipeline steel is very important. The major affecting factor on strength-toughness of pipeline steel is microstructure characteristic. In this paper, the research status of pipeline steel microstructure characteristic including effective particle size, non-metallic inclusion and banded structure is summarized at home and abroad. In addition, the shortcomings of fomer research on the relationship between microstructure characteristic and strength-toughness of this pipeline steel are also analyzed. On this basis, a solution is put forward to investigate the characterization of effective particle size and micromechanical behavior of inclusion and banded structure with the method of electron backscatter diffraction and the method of SEM in situ observation. And the necessities and feasibilities of the solution are discussed.

Key words high grade pipeline steel, microstructure, strength-toughness, electron backscatter diffraction, SEM in situ observation

随着世界经济的飞速发展,对石油、天然气的需求量日益增加。管道运输作为长距离输送石油、天然气最经济合理的运输方式,在近 40 年取得了巨大的发展。目前,油气管道特别是天然气管道的重要发展趋势是采用大口径、高压输送及选用高钢级管材。实践表明,每提高 1 个钢级,可节约管道建设成本 7%~10%。近年来,已建和在建的 X80 钢级的管道总计已接近 10000km,X100 和 X120 钢级也相继研制成功,处于试用推广阶段。举世瞩目的西气东输二线工程大规模使用 X80 钢管,使我国高钢级管线钢的生产和管道建设提高到一个新的水平[1]。此外,随着冶金技术的进步,尤其是管线钢的设计和生产过程中采用了冶金数学、清洁生产、过程智能控制等高新科技,通过微合金化、超纯净冶炼和现代控轧、控冷技术,已能够提供超纯净度、超均匀性和超细晶粒的具有优良强韧特性的管道钢材。管线钢已经成为低合金高强度钢和微合金化领域内最富有活力、最具有研究成果的一个重要分支。

1 管线钢微观组织特征与强韧性能关系的研究及必要性

管线钢应用于各种不同的气候环境,因此要具有抵抗各种恶劣服役条件的能力,如高的强度和韧性、低的韧脆转变温度、良好的焊接性能和耐腐蚀性等。目前,高钢级管线钢由于采用超低碳、微合金化和控轧控冷等先进技术,强度水平有了显著提升,但是获得优良的强韧性能匹配显得尤为重要。一般而言,金属材料的性能是由内部的微观组织特征决定的,而管线钢之所以具备高强韧性能,与其良好的微观组织特征密切相关。随着钢级的提高,管线钢的微观组织有相应的演变:X70 管线钢由均匀细小的铁素体构成;X80 管线钢由针状铁素体和上贝氏体组成;X100 管线钢由粒状贝氏体及含有的 M/A 小岛组成。此外,晶粒细化和弥散的第二

* 中国石油天然气集团公司应用基础研究项目(06A40202)

仝珂:男,硕士研究生,研究方向为油气输送管材料的显微组织和材料性能研究 E-mail:tongk@tgrc.org

万方数据

相亦是提高管线钢强度的重要手段[2]。然而高钢级管线钢微观组织特征非常复杂，如晶粒形状和尺寸、相组成、相形态和分布、晶界特征分布以及织构和晶粒取向等。其中，晶粒尺寸是影响材料性能的重要因素。研究表明，细小的晶粒可以提高材料的强度和改善材料的塑性和韧性。晶粒尺寸可以作为一个衡量管线钢综合力学性能的重要指标。

此外，管线钢中由于合金元素含量高且频繁出现超大尺寸夹杂物和带状组织，在实际应用中存在很多问题(见图 1)：如在西气东输二线 X80 钢管生产检验过程中发现，个别批次 X80 管线钢存在超大尺寸非金属夹杂物，而参照标准[3,4]，该管线钢性能符合标准规定。超大尺寸夹杂物对管线钢综合性能特别是强韧性有多大影响，还不得而知。文献调研表明，国内外尚未针对高钢级管线钢的微观组织特征与强韧性能的关系建立一套完整的研究体系。因此急需研究高钢级管线钢的微观组织特征，尤其是晶粒尺寸、非金属夹杂物、带状组织与材料强韧性能的关系。

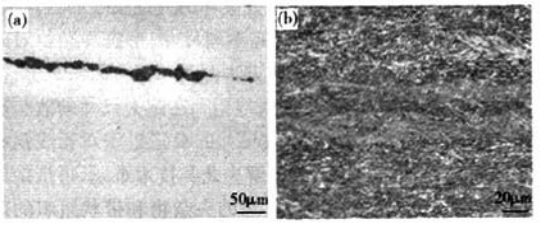


图 1　高钢级管线钢中超尺寸非金属夹杂物(a)和带状组织(b)

Fig. 1　The oversized non-metallic inclusion (a) and banded structure (b) in high grade pipeline steel

2　管线钢微观组织特征的研究进展

2.1　晶粒尺寸

晶粒尺寸(晶粒度)，是指晶粒尺寸大小的量度。传统的晶粒度测试方法是使用化学试剂腐蚀出晶界来区分不同的组织，并通过与标准评级图对比来评定晶粒度级别。但是使用传统方法对晶粒度进行测量，经常会有某些组织难以显示出来，特别是管线钢，其组织十分复杂，如 Smith Y E 等[5]认为 X80 中的针状铁素体，通常显示为独特的不规则形状，晶粒大小不等，相互之间的位相关系不定，呈混杂分布状态，这就使得通过传统方法评定出的晶粒度往往不准确，并不能很好地反映材料的性能。对管线钢的研究表明[6]，钢中重要的组织单元是有效晶粒。针状铁素体组织之所以拥有极好匹配的力学性能，是因为一方面来自于晶粒的细化，包括奥氏体的细化；另一方面来自于有效晶粒。一般情况下，有效晶粒是通过由电子背散射衍射(EBSD)所确定的组织中的“晶体学单元”和由夏比 V 型缺口冲击(CVN)试验的裂纹扩展路径及解理面单元所确定的“形貌单元”来确定的。在管线钢中有效晶粒定义为晶界取向差大于 15°的晶粒，具有大于 15°晶界取向差的晶粒表征了控制材料断裂的组织单元，决定着材料的强韧性。采用有效晶粒尺寸替代传统晶粒度评定方法，突破了传统方法的不足，评定出的晶粒度能准确反映材料的性能，使组织结构与性能可以更好地对应起来。

2.2　非金属夹杂物

钢中不具有金属性质的氧化物、硫化物、硅化物、硅酸盐或氮化物称为非金属夹杂物。它们是钢在冶炼过程中加入脱氧剂而形成的氧化物、硅酸盐和钢在凝固过程中由于某些元素溶解度下降而形成的硫化物、氮化物，以及炉渣或耐火材料来不及排出而留在钢中[7]。非金属夹杂物常作为衡量钢质量的重要指标，其类型、组成、形态、含量、尺寸、分布等各种状态因素都对钢性能产生影响。高惠临等[8]认为非金属夹杂物可使管线钢的韧性降低，韧脆转变温度升高，并且夹杂物在轧制过程中发生形变可导致材料在横向和厚度方向上的韧性严重恶化。Carneiro R A 等[9,10]证明在大多数情况下，氢致开裂(HIC)起源于夹杂物，而硫化物应力开裂(SSCC)的形成与 HIC 的形成密切相关。黄一新等[11]研究表明 X70 管线钢中的大量的硅酸盐类夹杂物影响着管线钢 DWTT 合格率。熊庆人等[12]分析了国产 X70 管线钢断口分离现象的产生机理，发现管线钢中夹杂物与脆性带状组织造成沿轧制方向铁素体界面的弱化，从而导致断口分离。

随着钢洁净度的提高，钢中大尺寸的非金属夹杂物出现几率很低，洁净高强钢中的夹杂物由少量大尺寸夹杂物和一些小尺寸夹杂物组成。夹杂物的尺寸对承受负载的钢件的可靠性和性能都有重要的影响。大量的实验结果表明，构件在循环应力作用下，裂纹首先在夹杂物或其它缺陷处萌生，且疲劳失效最可能发生在最大夹杂处。因此，高钢级管线钢中最大尺寸夹杂物的评估有助于预测钢的力学性能和根据夹杂物的尺寸估量使用过程中潜在的危险和评估炼钢过程。

2.3　带状组织

钢中的带状组织沿轧制方向形成，以先共析铁素体为主的带与以珠光体为主的带彼此堆叠而成的组织形态，是钢材中常出现的缺陷性组织。它是铸锭中的粗大枝晶在轧制时沿变形方向被拉长，并逐渐与变形方向一致而形成的。钢材成分偏析越严重，形成的带状组织越严重。由于相邻带的组织不同，它们的性能也不同，导致产生应力集中，总体力学性能下降，并且有明显的各向异性。周琦等[13-15]研究表明，带状组织对管线钢的主要危害是降低了其抗腐蚀性能。

2.4　研究局限性及解决方案

如上所述，有效晶粒尺寸、非金属夹杂物及带状组织是衡量管线钢力学性能特别是强韧性能的重要指标。但是目前对于高钢级管线钢，其微观组织特征有以下 2 个问题悬而未决：第一，如何根据检测到的有效晶粒尺寸、夹杂物的形态及尺寸和带状组织的级别等微观组织特征参数准确预测管线钢的性能；第二，不影响高钢级管线钢性能的有效晶粒尺寸的临界值、夹杂物临界尺寸和带状组织临界级别应该是多少？为此，长期以来材料工作者从宏观力学性能测试与理论计算的角度做了大量工作，但至今未得到满意结果。笔者认为，通过如下研究思路可得到令人满意的结果。

(1) 采用电子背散射衍射(EBSD)技术研究高钢级管线钢的有效晶粒尺寸及有效晶粒尺寸与材料性能的对应关系。

(2) 采用原位观测技术研究高钢级管线钢夹杂物与带状

万方数据

组织的微观力学行为,从微观角度解释夹杂物形态、尺寸和带状组织级别等特征参数对裂纹萌生与扩展有何影响。

3 EBSD 技术在管线钢晶粒尺寸研究中的应用

3.1 EBSD 技术简介

EBSD(菊池花样)是采用扫描电子显微镜中背散射电子衍射的菊池花样来确定晶体方位的分析方法,可以提供样品表面某一点的晶体学取向参数,对材料内部的晶界特征、晶体取向、微观织构、物相鉴定等进行统计分析。与传统的分析技术相比,EBSD 有几大优点:(1)将显微组织与结晶学之间直接联系起来;(2)能快速和准确地得到晶体空间组元的大量信息;(3)能以比较广泛的范围选择任意视野。EBSD 拥有如此广泛的材料分析能力及诸多优点,使其被用于多方面的工业环节和研究领域。

目前,利用 EBSD 对管线钢进行的研究多集中在以下几个方面:管线钢中的相含量和相分布、第二相尺寸及所占比例、位相差分布图、有效晶粒尺寸及其分布和应变的等高线等。

3.2 EBSD 技术研究管线钢晶粒尺寸的必要性及可行性

EBSD 技术是测量管线钢有效晶粒尺寸最理想的工具[16]。Dia-Fuents 等[17,18]利用 EBSD 研究了针状铁素体组织的韧性行为,分析了与 -60℃ CVN 试样相对应的最小裂纹反射角,发现脆性裂纹只有在取向差为 15°及以上晶界才发生较显著的反射。由此可见,有效晶粒(晶界大于 15°的晶粒)是管线钢中真正对强韧性有贡献的微观组织。

王伟等[19]使用 EBSD 技术研究发现,X90 比 X70 拥有更细小的有效晶粒尺寸。小的有效晶粒尺寸通过晶界强化增加了材料的强度,而且可以使解离断裂扩展路径变得更加弯曲,从而一定程度上提高了材料的韧性。Sang Yong Shin 等[20]在研究 X70 管线钢在韧脆转变温度区的断裂韧性时发现,大的有效晶粒尺寸阻碍裂纹的扩展,降低了解离断裂扩张抗力。张小立[21,22]在分析了一系列高钢级管线钢的有效晶粒度后指出,有效晶粒度越小,管线钢的强韧性匹配就越好,并且晶粒的细化促使韧脆转变温度的降低。Koo 等[23]在对 X120 进行研究后表明,为了满足 X120 的强韧性要求,其有效晶粒尺寸应不大于 2μm。

但是,国内外学者目前的研究工作仅局限于有效晶粒尺寸对强韧性能的影响。如果借助 EBSD 技术,系统、全面地建立有效晶粒尺寸与材料强韧性能的关系,总结有效晶粒尺寸随组织类型和钢级变化的演变规律,将会在高钢级管线钢晶粒度评定、管材评价和可靠性评估等方面提供重要的理论依据和技术支持。

4 原位观测技术在管线钢夹杂物研究中的应用

4.1 原位观测技术简介

扫描电镜下的原位拉伸和原位疲劳是近年发展起来的一种先进试验方法,是将扫描电镜内的样品台换成原位拉伸或疲劳台,采用外部加载,并通过外加磁场控制扫描电子束的移动与试样变形一致的技术,实现在动态下对材料受载过程的跟踪观察,有利于准确了解材料受载直至断裂的全过程。

4.2 原位观测技术研究管线钢夹杂物及带状组织的必要性及可行性

采用原位拉伸及原位疲劳的试验手段动态观察夹杂物对基体影响已有报道。张丽娜等[24,25]采用扫描电镜原位观察了高温合金 P/M Rene95 中不同尺寸的夹杂物在拉伸载荷下导致裂纹萌生的过程,结果表明,随着载荷的增加,裂纹在夹杂物处萌生,夹杂物尺寸不同,导致裂纹萌生的方式不同。谢锡善等[26]研究发现,高温合金 P/M Rene95 在原位拉伸与原位疲劳试验过程中,夹杂物内部裂纹极易沿垂直主应力方向贯穿进而向基体扩展,造成合金材料在低于拉伸强度时断裂。王习术等[27]原位观测了夹杂物对超高强度钢疲劳裂纹萌生及扩展的影响,并得到了超高强度钢低周疲劳裂纹萌生与扩展特性和夹杂物对疲劳破坏的关键尺寸的估计值。由此可见,原位观测技术是研究不同尺寸、形态夹杂物对基体材料性能影响最直接有效的方法。

生产检验中发现,高钢级管线钢存在超大尺寸的非金属夹杂物及带状组织。这些超大尺寸的缺陷组织对管线钢材料性能的影响尚未定论。为了解决此类技术难题,可借助原位观测技术,研究不同尺寸、形态的夹杂物和带状组织的微观力学行为,并得到影响高钢级管线钢性能的夹杂物和带状组织的临界尺寸。遗憾的是,目前国内外还没有人在管线钢领域开展此类研究。

5 结语

随着超低碳、微合金化和控轧控冷等先进技术的采用,高钢级管线钢强度水平显著提升,并获得了优良的强韧性能匹配。管线钢高强韧的性能与其内部优良的微观组织特征息息相关,因而有效研究高钢级管线钢微观组织特征与强韧性能的关系非常关键。然而,国内外尚未针对该部分研究建立一套完整的体系,基本属于空白。

针对上述难题,具体可采用以下技术路线:

(1)采用 EBSD 技术,对 X70－X100 级管线钢的微观特征组织进行取向成像分析,分析晶粒形状、相类型及分布、各相的相对含量、织构和晶粒取向演变规律,统计计算出有效晶粒尺寸。

(2)分析有效晶粒尺寸随组织和钢级的变化规律,并研究 X70－X100 级管线钢有效晶粒尺寸与材料性能的对应性,特别是与 Charpy 冲击韧性的关系。

(3)比较常规晶粒尺寸分析方法与有效晶粒尺寸的差异,讨论有效晶粒尺寸的可靠性,提出高钢级管线钢有效晶粒度评定方法。

(4)采用原位观测技术,研究 X70－X100 级管线钢在拉伸实验与疲劳实验时,不同尺寸、形态夹杂物与带状组织的微观力学行为;总结管线钢中夹杂物、带状组织导致的裂纹萌生及扩展规律,并建立与材料强韧性能的联系。

万方数据

(5)分析计算出X70－X100级管线钢中夹杂物及带状组织对拉伸、疲劳破坏的关键尺寸的估计值。

以上研究将会在高钢级管线钢晶粒度评定、超大尺寸夹杂物和带状组织评估等实际工程应用难点问题上取得重大突破，大力推动高钢级管线钢的研究开发和工程应用，为管材选用、质量评价和可靠性评估方面提供重要的理论依据和技术支持。

参考文献

1 高惠临，董玉华，周好斌. 管线钢的发展趋势与展望[J]. 焊管，1999，22(3)：4

2 张小立，冯耀荣，赵文轸. 高钢级管线钢显微组织的演变[J]. 特殊钢，2008，29(2)：41

3 American Society for Testing and Materials. ASTM E45-2005 Standard test method for determining the inclusion content of steel[S]. American：ASTM，2005：1

4 中国石油天然气股份有限公司管道建设项目经理部. Q/SY GJX 0104-2007 西气东输二线管道工程用直缝埋弧焊管技术条件[S]. 北京：中国石油天然气股份有限公司管道建设项目经理部，2007：1

5 Smith Y E，Coldren A P，Cryderman R. Toward improved ductility and toughness [M]. Tokyo：Climax Molybdenum Company Ltd，1972：119

6 高惠临. 管线钢组织，性能，焊接行为[M]. 西安：陕西科学技术出版社，1995：89

7 Kiessling R. Non-metallic inclusions in steel[C]// Symposium on Non-metallic Inclusions in Steel. Swedish，1980：5

8 高惠临，辛希贤. 论管线钢韧性的控制因素[J]. 焊管，1995，18(5)：7

9 Carneiro R A，Ratnapuli R C，Lins V C. The influence of chemical composition and microstructure of API linepipe steels on hydrogen induced cracking and sulfide stress corrosion cracking [J]. Mater Sci Eng A，2003，(A357)：104

10 Lopez H F，Raghunath R，Albarran J L，et al. Microstructural aspects of sulfide stress cracking in an API X80 pipeline steel[J]. Metall Mater Trans A，1996，(27A)：3601

11 黄一新，尹雨群，李晶，等. X70管线钢中夹杂物控制试验研究[J]. 南钢科技与管理，2007(3)：8

12 熊庆人，冯耀荣，霍春勇，等. X70管线钢断口分离现象分析研究[J]. 机械工程材料，2005，29(12)：21

13 周琦，季根顺，杨瑞成，等. 管线钢中带状组织与氢致开裂[J]. 甘肃工业大学学报，2002，28(2)：30

14 霍守成，杨新田. 管线钢带状组织对CO_2/H_2S腐蚀行为影响的比较分析[J]. 机械研究与应用，2006，19(5)：44

15 周琦，付希圣，黄淑菊. 石油专用管中的带状组织对低温区CO_2腐蚀的影响[J]. 腐蚀与防护，2005，26(11)：472

16 张小立，庄传晶，吉玲康，等. EBSD及其在钢铁研究领域中的应用[J]. 材料导报，2006，20(11)：96

17 Diaz-fuentes M，et al. Analysis of different acicular ferrite microstructures in low-carbon steels by electron backscattered diffraction[J]. Metall Mater Trans A，2003，34：2505

18 Hernandez D，Diaz-Fuentes M，Lpez B，et al. Study of grain boundary ferrite nucleation in V microalloyed steels by EBSD [J]. Mater Sci Forum，2003，26(3)：1151

19 Wang W，Shan Yiyin，Yang K. Study of high Strength pipeline steel with different microstructures[J]. Mater Sci Eng A，2009，502(1)：38

20 Sang Yong Shin，Byoungchul Hwang，et al. Fracture toughness analysis in transition temperature region of API X70 pipeline steels [J]. Mater Sci Eng A，2006，429(1)：196

21 张小立，庄传晶，吉玲康，等. 管线钢的有效晶粒尺寸[J]. 机械工程材料，2007，31(3)：4

22 张小立，庄传晶，吉玲康，等. 高钢级管线钢的组织特征和强韧性[J]. 特殊钢，2006，27(6)：27

23 Koo J Y，Luton M J，Bangaru R A，et al. Metallurgical design of ultra-high strength steel for gas pipeline[C]// Proceeding of 13th International Offshore and Polar Engineering Conference. Honolulu，Hawaii，USA，2003

24 张丽娜，张麦仓，李晓，等. Ni基P/M Rene95合金中非金属夹杂物导致裂纹萌生和扩展的扫描电镜原位观察[J]. 稀有金属材料工程，2001，30(4)：123

25 张丽娜，张麦仓，李晓，等. P/M Rene95合金夹杂物微观力学行为观察[J]. 北京科技大学学报，2002，22(4)：432

26 谢锡善，张丽娜，张麦仓，等. 镍基粉末高温合金中夹杂物的微观力学行为研究[J]. 金属学报，2002，38(6)：635

27 王习术，梁锋，曾燕屏，等. 夹杂物对超高强度钢低周疲劳裂纹萌生及扩展影响的原位观测[J]. 金属学报，2005，41(12)：1272

(责任编辑　林　芳)



万方数据

高钢级管线钢微观组织特征与强韧性能关系的研究及展望

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 仝珂， 庄传晶， 朱丽霞， 李洋， 瞿婷婷， 邵晓东， TONG Ke， ZHUANG Chuanjing， ZHU Lixia， LI Yang， QU Tingting， SHAO Xiaodong

作者单位： 中国石油天然气集团公司管材研究所,西安,710065

刊名： 材料导报 ISTIC PKU

英文刊名： MATERIALS REVIEW

年，卷(期)： 2010，24(3)

被引用次数： 0次

参考文献(27条)

1. 高惠临. 董玉华. 周好斌 管线钢的发展趋势与展望 1999(3)

2. 张小立. 冯耀荣. 赵文轸. 霍春勇 高钢级管线钢显微组织的演变[期刊论文]-特殊钢 2008(2)

3. American Society for Testing and Materials ASTM E45-2005 Standard test method for determining the inclusion content of steel 2005

4. 中国石油天然气股份有限公司管道建设项目经理部 Q/SY GJX 0104-2007西气东输二线管道工程用直缝埋弧焊管技术条件 2007

5. Smith Y E. Coldren A P. Cryderman R Toward improved ductility and toughness 1972

6. 高惠临 管线钢组织,性能,焊接行为 1995

7. Kiessling R Non-metallic inclusions in steel 1980

8. 高惠临. 辛希贤 论管线钢韧性的控制因素 1995(5)

9. Cameiro R A. Ratnapuli R C. Lins V C The influence of chemical composition and microstructure of API linepipe steels on hydrogen induced cracking and sulfide stress corrosion cracking 2003(A357)

10. Lopez H F. Raghunath R. Albarran J L Microstructural aspects of sulfide stress cracking in an API X80 pipeline steel 1996(27A)

11. 黄一新. 尹雨群. 李晶. 余健 X70 管线钢中夹杂物控制试验研究[期刊论文]-南钢科技与管理 2007(3)

12. 熊庆人. 冯耀荣. 霍春勇. 李为卫 X70管线钢的断口分离现象分析研究[期刊论文]-机械工程材料 2005(12)

13. 周琦. 季根顺. 杨瑞成. 徐建林. 张旺峰 管线钢中带状组织与氢致开裂[期刊论文]-甘肃工业大学学报 2002(2)

14. 霍守成. 杨新田 管线钢带状组织对CO2/H2S腐蚀行为影响的比较分析[期刊论文]-机械研究与应用 2006(5)

15. 周琦. 付希圣. 黄淑菊 石油专用管中的带状组织对低温区CO2腐蚀的影响[期刊论文]-腐蚀与防护 2005(11)

16. 张小立. 庄传晶. 吉玲康. 冯耀荣. 霍春勇. 赵文轸 EBSD及其在钢铁研究领域中的应用[期刊论文]-材料导报 2006(11)

17. Diaz-fuentes M Analysis of different acicular ferrite microstructures in low-carbon steels by electron backscattered diffraction 2003

18. Hernandez D. Diaz-Fuentes M. Lpez B Study of grain boundary ferrite nucleation in V microalloyed steels by EBSD 2003(3)

19. Wang W. Shan Yiyin. Yang K Study of high Strength pipeline steel with different microstructures 2009(1)

20. Sang Yong Shin. Byoungchul Hwang Fracture toughness analysis in transition temperature region of API X70 pipeline steels 2006(1)

21. 张小立. 庄传晶. 吉玲康. 冯耀荣. 赵文轸. 霍春勇. 王杰武 高钢级管线钢的有效晶粒尺寸[期刊论文]-机械工程材

料 2007(3)

22. 张小立. 庄传晶. 吉玲康. 冯耀荣. 赵文轸. 霍春勇 高钢级管线钢的组织特征和强韧性[期刊论文]-特殊钢 2006(6)

23. Koo J Y. Luton M J. Bangaru R A Metallurgical design of ultra-high strength steel for gas pipeline 2003

24. 张丽娜. 张麦仓. 李晓 Ni基P/M Rene95合金中非金属夹杂物导致裂纹萌生和扩展的扫描电镜原位观察 2001(4)

25. 张丽娜. 张麦仓. 李晓. 董建新. 谢锡善 P/M Rene95合金夹杂物微观力学行为观察[期刊论文]-北京科技大学学报 2002(4)

26. 谢锡善. 张丽娜. 张麦仓. 董建新 镍基粉末高温合金中夹杂物的微观力学行为研究[期刊论文]-金属学报 2002(6)

27. 王习术. 梁锋. 曾燕屏. 谢锡善 夹杂物对超高强度钢低周疲劳裂纹萌生及扩展影响的原位观测[期刊论文]-金属学报 2005(12)

相似文献(4条)

1. 学位论文 陈翠欣 X80高强管线钢的焊接性及其模拟仿真 2005

高压、大管径、高钢级管线钢是石油、天然气输送管道发展的必然趋势。X80管线钢是控轧控冷的微合金钢，具有高强度和良好的抗延性断裂能力，是输气管道中的高钢级管材。本课题即以X80管线钢为对象，采用物理模拟和定量预测手段，研究其在焊接工艺中所形成接头的性能及冷裂倾向，为X80管线钢在管道上的实际应用提供理论依据。同时还以热动力学、金属物理学和力学等基本理论为基础，计算X80高钢级管线钢焊接接头的热场、应力场，以及显微组织状态场，建立起完善的焊接性评定模型，得出保证X80管线钢焊接接头强韧化的最优化学成分和焊接条件，实现对焊接接头的组织和性能进行预测。

考虑线能量、板厚和预热温度三因素的影响，采用一次正交回归试验方法，制定了试验方案，并测量了不同工艺参数焊接热循环曲线。利用焊接热模拟技术模拟不同焊接工艺条件下的X80管线钢焊接粗晶区的组织和性能。研究结果表明，X80管线钢粗晶区组织主要为贝氏体，具有板条束和粒状两种形态；奥氏体晶粒显著粗化，尺寸约为30～40μm。随着冷却时间t8/5的增加，第二相粒子的数量减少，晶粒尺寸增加，当t8/5在6～8s时，粒状贝氏体含量较高，板条束贝氏体细小且方向性较弱，试样的冲击韧性较高；而当t8/5大于或小于该范围后，粒状贝氏体含量逐渐下降，板条贝氏体逐渐粗大、平行，试样韧性又逐渐降低。M-A组元由于其含量低，尺寸小，对韧性的影响不显著。因此为提高焊接粗晶区的韧性，应采用小线能量和合适的预热温度来控制晶粒尺寸和组织形态。以焊接传热学、Leblond相变理论和热弹塑性理论为基础，考虑了材料物理性能参数与温度的非线性关系，以及温度分布、相变类型和比例以及应力应变之间的相互作用，采用SYSWELD有限元数值模拟软件实现了温度场、组织转变场和应力应变场三场耦合计算。

根据不同工艺参数的热循环曲线建立了X80管线钢热循环方程，并在热模拟数据的基础上建立了HAZ粗晶区的奥氏体晶粒长大动力学方程。采用Voronoi初始网格和Radhakrishnan算法，在MATLAB平台上编写了MC模拟微观组织的程序，实现了不同时刻晶粒长大演变情况的模拟。其模拟结果与试验结果吻合较好。以VB6.0为平台设计了管线钢焊接性评定系统，用户可以实现焊接工艺参数的输入，材料的选择，模型的选择或自定义，评定结果的输出等功能。采用该系统可实现对X80管线钢的焊接性(包括冷裂纹敏感性、过热区的组织和奥氏体晶粒尺寸以及硬度和韧性)进行预测。

2. 期刊论文 甄翠娜. 孙浩. 陈雨来. 白彦. ZHEN Cuina. SUN Hao. CHEN Yulai. BAI Yan Nb、Mo含量对高钢级管线钢组织性能的影响 -热加工工艺2010,39(8)

采用Gleeble-1500热模拟试验机并结合微观组织和力学性能测试,分析了不同铌、钼含量对管线钢的组织、力学性能和CCT曲线的影响.结果表明:随钼的质量分数增加,针状铁素体的含量增加,并且出现了M-A组织.铌在钢中可抑制奥氏体的再结晶,保持变形效果从而细化铁素体晶粒,得到细小的贝氏体组织,并且铌含量的增加使得管线钢强度和硬度鄙相应增大,冲击韧度降低.在连续冷却转变过程中,钼元素的加入使相变点温度降低,在相同的冷却条件下容易发生贝氏体转变,并使其CCT曲线向右移.而铌元素的加入增大了过冷奥氏体的稳定性,相变点温度降低,并且推迟珠光体的转变.

3. 期刊论文 何小东. 马秋荣. 王长安. 庄传晶. 杨红兵. 卫尊义. 张蕾. HE Xiao-dong. MA Qiu-rong. WANG Chang-an. ZHUANG Chuan-jing. YANG Hong-bing. WEI Zun-yi. ZHANG Lei 高强度管线钢焊接接头不同缺口位置的断裂韧性研究 -焊管2009,32(8)

采用夏比冲击试验,研究了X65级高频焊管、X80和X100级埋弧焊管焊接接头不同缺口位置的断裂韧性,用扫描电镜和金相方法分析了冲击试样断口特征和微观组织.结果表明,高钢级管线钢高频焊接焊缝处的断裂韧性最低,其冲击功大小与热处理工艺密切相关;而埋弧焊接热影响区断裂韧性在熔合线处最低,其主要原因是此处的组织为粗大的粒状贝氏体,而且强度越高焊接热循环对管线钢的作用越强,在熔合线附近更容易产生粗大组织,使断裂韧性降低.讨论了油气输送管道用钢管标准和技术条件对焊缝和热影响区冲击试样缺口位置的规定.

4. 学位论文 吕向阳 X70管线钢焊接工艺研究 2006

随着石油工业的发展，采用管道输送石油、天然气的方式成为首选的技术方案。由于管道运输具有安全、经济、高效、节能等许多优点，近年来国内外油气管线的建设飞速发展。长距离、大管径、高压力正成为陆上油气输送管道的发展方向。西气东输管道工程是“十五”期间国家重点的特大型基础建设项目，全线首次采用X70级的管道输送钢管，是我国距离最长、口径最大、站场最多、高压力、多级加压的世界级的天然气干线管道。由国内研发的低碳针状铁素体组织的X70管线钢，强度高，韧性好，已满足目前工业输送石油和天然气的要求。本课题针对当时国内重点工程的急需开展了X70管线钢焊接性研究。这不仅具有重要的工程应用价值，并具有我国自主研发的高钢级管线钢焊接性研究的理论与学术意义。

本文介绍了管线钢的发展状况及趋势，通过对X70管线钢焊接性分析，结合目前管道焊接的先进施工方法，优选焊接材料，确定预热温度，选定分析比较并优选出焊接施工方案等。对于环缝焊接接头的力学性能进行试验分析，结合金相组织分析和硬度测试，研究了在不同焊接工艺条件下焊接接头的微观组织和硬度的分布规律。所研究的工艺方案一为根焊采用纤维素焊条下向焊工艺，填充焊和盖面焊采用自保护药芯焊丝半自动焊工艺。本研究的工艺方案二为根焊STT下向焊工艺，填充焊和盖面焊采用实心焊丝NOREAST自动焊机全位置焊工艺；研究结果表明，本文所提出的针对不同施工条件的两种工艺方案，均能满足长距离输气管线的施工及使用要求，已经在西气东输工程建设中采用，并且取得了管线焊接一次合格率96%以上的优秀业绩。

本课题研究提出的焊接工艺方案对西气东输建设作出了贡献，取得了重要的经济效益与社会效益。本课题研究结果对我国今后采用更高级别管线钢的建设项目，具有重要的理论、学术及实际工程应用指导意义与参考价值。

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cldb201003021.aspx
授权使用：辽宁科技大学图书馆(lnkjtsg)，授权号：7e538e19-8ca7-42a2-a5ab-9ea600b91839
下载时间：2011年3月14日