

高强度厚规格海洋平台用钢 研究进展及应用

刘振宇¹,周砚磊¹,狄国标²,王国栋¹

(1. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室,沈阳 110819; 2. 首钢技术研究院,北京 100041)

[摘要] 随着石油工业的不断发展,海底油气开发已经逐渐从浅海大陆架延伸至深海域,在降低成本的基础上,保证厚规格钢板的高强度高韧性以及抗层状撕裂性能是未来海洋平台用钢的发展方向。本文介绍了国内外高强度海洋平台用钢的研究现状,分析了此类钢板生产亟需解决的关键技术难题,阐述了东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(RAL)近年来在高强度厚规格海洋平台用钢研究领域的工作以及工程应用情况。

[关键词] 海洋平台用钢;低温韧性;超快速冷却;颈缩裂纹扩展

[中图分类号] TG1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)02-0031-08

1 前言

海洋工程装备是海洋经济发展的前提和基础,处于海洋产业价值链的核心环节,市场前景广阔。2012年2月印发的《海洋工程装备制造业中长期发展规划》中展望,2015年,该行业年销售收入将达到2 000亿元以上,其中海洋油气开发装备国际市场份额达到20%;2020年,年销售收入将达到4 000亿元以上,其中海洋油气开发装备国际市场份额达到35%以上^[1]。海洋工程装备制造业的快速发展为上游钢铁行业提供了机遇,也将带动海洋用钢需求同步增长。资料显示,“十一五”期间,我国已开发建设15个海洋油气田,建造76座海洋平台、6座浮式生产储油船(FPSO),铺设1 400多千米海底管线。2010年,我国共交付各类海洋平台16座,新承接自升式钻井平台5座,海洋平台模块订单10座^[2]。

海洋平台是人类开发海洋资源的工具,属于超大型焊接钢结构,应用在波浪、海潮、风暴及寒冷流冰等严峻的海洋工作环境中,支撑总重量超过数百

吨的钻井设备。这些使用特征决定了海洋平台用厚板必须具有高强度、高韧性、抗疲劳、抗层状撕裂、良好的可焊性和冷加工性以及耐海水腐蚀等性能指标。根据相关专家介绍,近年来,国产海洋平台钢板已经被广泛采用,EH36以下平台用钢基本实现国产化,占平台用钢量90%,只是关键部位所用高强度、大厚度材料仍依赖进口。但我国在高端海洋工程装备制造领域,特别是产品研发设计、核心关键配套设备等方面的钢材仍不能完全满足需求。目前中国每年约有70%的海洋工程装备配套设备需要进口。对此,《钢铁工业“十二五”发展规划》和《新材料产业“十二五”发展规划》都把提升海洋工程用钢品种质量作为技术改造的重点,加以扶持。

2 国内外高强度海洋平台用钢研究进展

2.1 国外研究进展

20世纪60年代开始,美国、日本和欧洲各国就开始了海洋平台用钢的研究,从历史沿革来看,海

[收稿日期] 2013-10-09

[基金项目] 国家高技术研究发展计划“863”计划资助项目(2007AA03Z504);中央高校基本科研业务费“重大科技创新项目”(N120807001)

[作者简介] 刘振宇,1967年出生,男,内蒙古赤峰市人,教授,主要从事加工过程材料组织性能演变的模拟、预测与控制等方面的研究工作;

E-mail: zyliu@mail.neu.edu.cn

洋平台用钢多采用造船用钢标准,即使是许多现代化平台选用了新型平台用钢,依然执行船舶检验局的有关钢质船舶建造规范的规定。目前,国际上海洋平台用钢生产所遵循的通用标准主要为BS7191(英国)、EN10225(欧洲)、NORSOK(挪威)以及API(美国)^[3]。在海洋平台用钢品种系列化、低温强韧化、焊接热影响区强韧化以及标准制订等方面,日本一直处于世界领先水平^[4]。

2.1.1 热机械控制工艺及在线热处理技术

日本JFE钢铁公司开发了采用在线快速冷却(Super-OLAC)的热机械控制工艺,以及一种新的在线热处理技术(HOP),作为高强度、高韧性以及具有优良焊接性能中厚板生产的核心技术(见图1)。

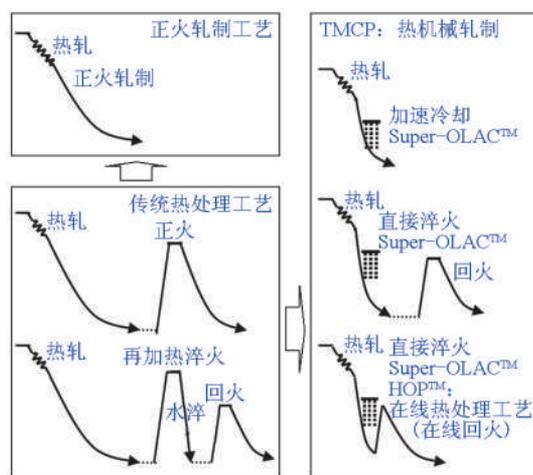


图1 控制轧制与拉制冷却工艺和传统热处理工艺比较

Fig.1 Comparison of production process between thermomechanical control process (TMCP) and conventional heat treatment process

20世纪90年代初,JFE钢铁公司开发出了新一代加速冷却技术,称之为Super-OLAC工艺,并应用于西日本钢厂,成为世界上首家开发并成功在中厚板中应用在线加速冷却技术的钢铁企业^[5,6]。该工艺通过调整喷嘴方向、喷嘴密度以及喷淋方式等实现了钢板表面出现具有高冷却能力的核态沸腾,使得冷却能力较之传统冷却方式提高了2~5倍并且钢板表面温度分布均匀。

近年来,JFE公司开发的HOP是一种利用电磁线圈产生的感应电流穿过中厚板产生的热量来实现钢板的在线快速加热的技术,为世界首创^[7]。HOP技术的应用,完全实现了同步在线热处理轧制

—快速冷却—热处理整套在线工艺的建立,极大地缩短了工艺流程,节省了能源。利用高效的感应加热装置进行快速回火可以对碳化物的分布和尺寸进行控制,使其非常均匀、细小的分散于基体上,从而实现调质钢的高强度和韧性。

2.1.2 连续在线控制工艺及CLC-μ技术

20世纪80年代新日铁公司率先采用冷却前钢材矫直和约束冷却方式的连续在线控制工艺(CLC)^[8],适用于生产强度级别大于490 MPa的高强钢板,并可以改进钢板的低温韧性和焊接性能。此后,在CLC应用的基础上,开发了新一代控制冷却系统CLC-μ^[9],CLC-μ继续采用约束型的控制冷却方式,但是在喷嘴形式以及水量控制方法等方面做了根本改变,大大增强了冷却控制性能,从而对厚板金相组织的控制变得非常容易,板带厚向的硬度波动减到了最小。

2.1.3 热影响区细晶高韧化(HTUFF)技术

20世纪90年代初,新日铁公司开发的HTUFF技术主要利用超高温状态(>1400℃)下可在熔合线附近稳定存在的氧化物、硫化物的纳米级粒子的钉扎作用,抑制结晶晶粒的长大,细化了HAZ的晶粒尺寸(见图2),大幅提高了HAZ的韧性^[10]。

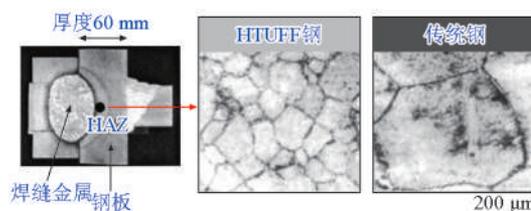


图2 HTUFF钢与传统钢HAZ组织对比

Fig.2 Comparison of HAZ microstructure between HTUFF steel and conventional steel

除了采用传统的控制轧制及热处理工艺外,住友金属公司应用自主研发的动态加速冷却工艺(DAC)生产具有优良性能的中厚板产品,此外还开发了特殊控制轧制技术(SSC)、高韧性技术(SHT)以及与DAC相复合的一系列先进的轧制技术。

2.2 国内研究进展

我国开发海洋石油起步较晚,直到20世纪80年代才拥有自己的海洋石油平台,近十几年间,国产的海洋平台钢板开始在我国海洋石油工程中广泛采用。随着海洋石油工业的发展,冶金行业加快了海洋平台用钢的研究开发工作,首先是在舞阳钢

铁公司(简称舞钢)和上海浦钢集团实现供货,随后宝钢集团有限公司(宝钢)、鞍山钢铁集团公司(鞍钢)、武汉钢铁集团公司(武钢)、马鞍山钢铁股份有限公司(马钢)等企业先后研制了一大批海洋平台结构专用钢管、板材与型钢,产品除国内油气田广泛使用外,还出口美国、加拿大、俄罗斯、澳大利亚、新西兰、印度尼西亚、泰国等国家。

近10年来,舞钢开发生产了十几万吨海洋平台用钢板,广泛应用于渤海、胜利、南海等油田平台建设,现已大批量供应API2HGr50、DH36、EH36等平台用钢,通过了9家船级社(ABS、BV、CCS、DNV、GL、LR、NK、RINA、KR)认证。2001年,舞钢研制高强海洋平台用钢和API2WGr50等TMCP型平台用钢,性能满足API2W、GB712及海上固定平台与建造规范的要求^[11]。

宝钢集团上海浦钢公司也开发成功DH36-Z35、EH36-Z35等海洋石油平台钢板^[12],各项性能指标全部达到相关标准规范要求,可以稳定生产符合“海上固定平台入级及建造规范”和附加要求的EH36-Z35、DH36-Z35等海洋平台钢板。

马钢开发SM490、SM400系列海洋石油平台用H型钢,先后用于SZ36-1、QHD32-6、文昌13-1/2、蓬莱19-3、东方1-1等10余个海洋石油平台建造项目,并以优异的实物性能获得海洋石油平台制造行业及第三方的高度认可,实现了海洋石油平台用H型钢的国产化。

2006年5月鞍钢宣布鞍钢造船板通过了英国、挪威等九国船级社的权威认证,钢板级别涵盖了315~550 MPa级,最高质量等级达到FH550级,最大厚度由过去40 mm增加到100 mm,超高强级别达到80 mm。2010年鞍钢成为国内首家通过F620、F690超高强海洋平台用钢船级社认证的钢铁企业,这些进步标志我国船体结构和海洋工程结构用钢板已接近世界先进水平,打破了国外企业在此领域高端产品的垄断格局。

目前,海洋平台用钢国产化程度已达到90%,但是在高强度(460~550 MPa)钢板推广、超高强度(≥ 690 MPa)钢板研发、齿条钢研发、配套焊接材料等方面还存在一系列问题和障碍,特别是自升式平台关键部位使用的550~785 MPa级易焊接、高强度、高韧性、耐海水腐蚀的平台用钢还严重依赖进口,需要进行广泛的研究和协作以解决这些问题。

3 亟需解决的问题

相比于传统的中厚板生产技术,新一代TMCP技术(NG-TMCP)^[13]以及在线热处理技术具有明显优势,近年来,新一代TMCP技术发展迅速,也取得了许多进展,但仍然有诸多问题有待探索 and 解决。

1) 厚规格钢板心部低温冲击韧性变化机理与控制技术:厚规格钢板心部-60℃的冲击韧性变化规律复杂而且难以掌握,是海洋工程结构用钢质量提高的关键技术。

2) 特厚钢板(180~220 mm)显微组织与力学性能控制的冶金学规律与工艺。

3) 海洋工程用钢表面质量控制:确保较高的表面质量,避免出现严重点蚀等缺陷,积雪突破表面质量控制技术。

4) 耐海水腐蚀性能:开发免涂装的耐海水腐蚀钢板,满足不同部位腐蚀要求的全系列的耐海水腐蚀钢。

4 实验室创新技术

4.1 应用超快速冷却(UFC)^[14]的短流程热处理技术

实验表明,采用低C、高Mn、Nb和Ti微合金化并少量添加Ni元素改善低温韧性的成分设计思路,经奥氏体区两阶段轧制过程后迅速UFC至 T_f 温度,之后进行离线高温回火(见图3),可以得到屈服强度大于550 MPa,抗拉强度大于700 MPa,-60℃冲击功大于120 J的海洋平台用钢。

采用UFC的新一代TMCP工艺的轧态组织性能控制思路是:在适用于变形的温度区间完成连续大变形和应变积累,得到硬化的奥氏体,轧后立即进行超快速冷却,使轧件迅速通过奥氏体相区,保持轧件奥氏体硬化状态,在奥氏体向铁素体相变的动态相变点终止冷却,后续依照材料组织和性能的需要进行冷却路径的控制。如图4所示,轧态为下贝氏体和粒状贝氏体的混合组织,贝氏体铁素体(BF)形态多为针状和条状,富碳相的形态及分布可概括为如下两种:a. 连续分布于板条铁素体之间的条状碳化物;b. 多分布于铁素体边界处,表面浮突,呈不规则岛状的M-A复相组织(M-A islands)。高温回火后,演变为典型的回火贝氏体组织,铁素体长大,碳化物及M-A组织分解,分解的M-A岛中可以观察到大量颗粒状的碳化物析出(如图4c所示)。

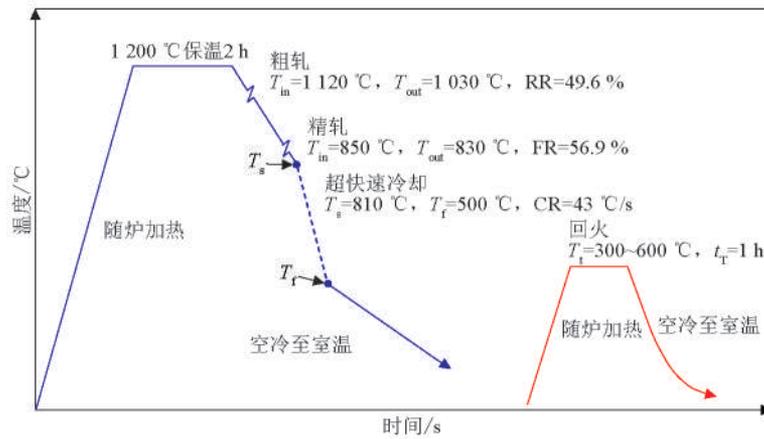


图3 应用超快冷的短流程热处理工艺示意图

Fig.3 Schematic diagram of thermo-mechanical control process and tempering process

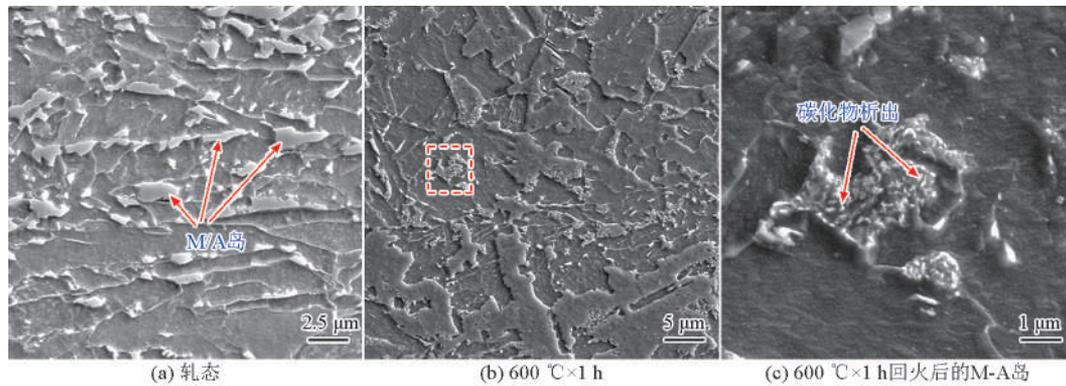


图4 轧态及回火态显微组织

Fig.4 SEM images of as-rolled and as-tempered samples

控制显微组织中碳元素的分布是应用UFC的短流程热处理技术的关键难点,图5给出了不同阶段M-A岛碳元素分布的演变规律,可以看出,轧态的M-A组分中碳元素分布均匀,随着回火过程的进行,碳元素在热激活的扩散作用下,重新分布,释放

出的碳原子,与合金元素结合形成富Nb碳化物,在铁素体内弥散分布,这些细小析出物一方面通过析出强化作用强化了铁素体基体;另一方面,可以有效阻碍位错运动,演化基体回复,降低软化趋势,从而保证回火后钢板的高强度。

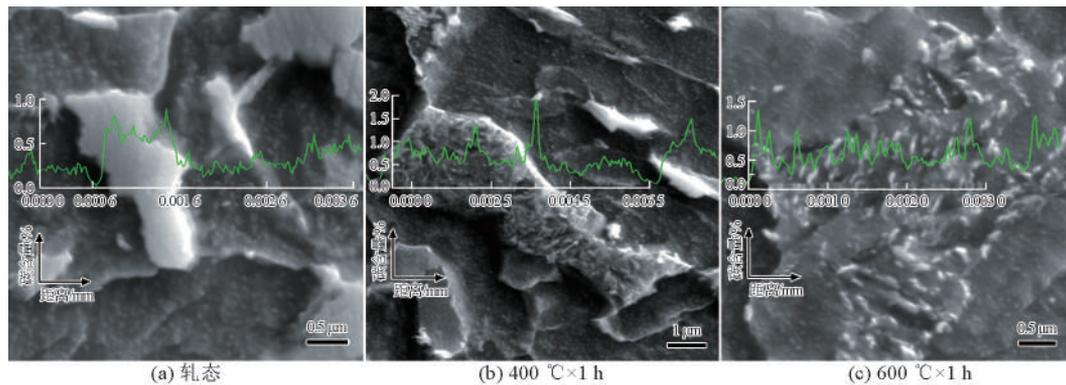


图5 M-A岛的碳分布演变

Fig.5 Evolution of carbon distribution of M-A islands

4.2 UFC+T 强韧化技术^[15]

UFC+T 生产工艺可用于生产屈服强度大于 600 MPa, 抗拉强度大于 720 MPa, -60 °C 冲击大于 100 J 的海洋平台用宽厚板。

强化机理: M-A 复相组织多分布于铁素体边界处, 表面浮突, 呈不规则岛状, 回火过程中, 此类富碳相分解, C 与 Nb 等结合, 再析出细小碳化物, 强化了基体组织, 保证了回火后的高强度。

韧化机理: 基体组织为回火贝氏体, 铁素体软相首先发生塑性形变, 大于临界尺寸的 M-A 组元在断裂过程中易萌生微裂纹, 而小于临界尺寸的富碳相粒子则随铁素体形变而移动, 聚集成团, 团聚富碳相可以阻碍剪切裂纹的扩展, 颈缩扩展成为裂纹扩展的主要方式, 宏观表现为韧性撕裂断口 (如图 6a 所示)。

4.3 亚温淬火技术 (Lamellarizing+Tempering)^[16]

高强度厚规格的海洋工程结构用钢多采用轧后调质的传统生产工艺, 通过合理的成分设计, 采用 L+T ($\gamma+\alpha$ 两相区淬火+回火) 的轧后热处理工艺, 可以得到综合性能优良的高强度海洋工程结构用厚钢板 (如图 7 所示), 与传统工艺相比, 降低了再加

热温度, 缩短了工艺流程, 达到了节能减排的目的。

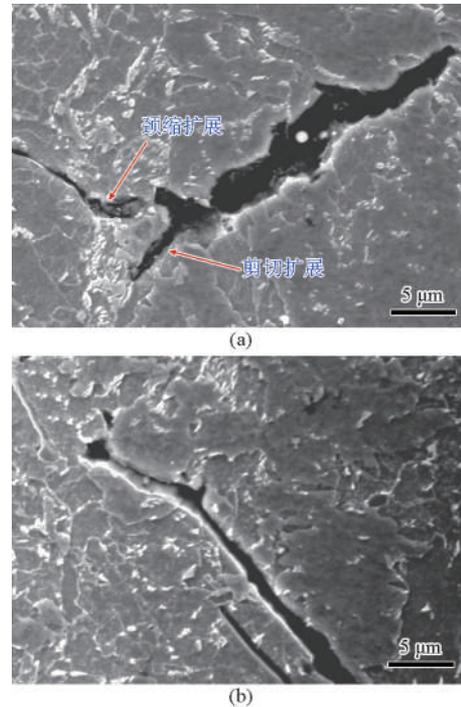


图 6 裂纹扩展方式及路径
Fig.6 Mode and path of crack

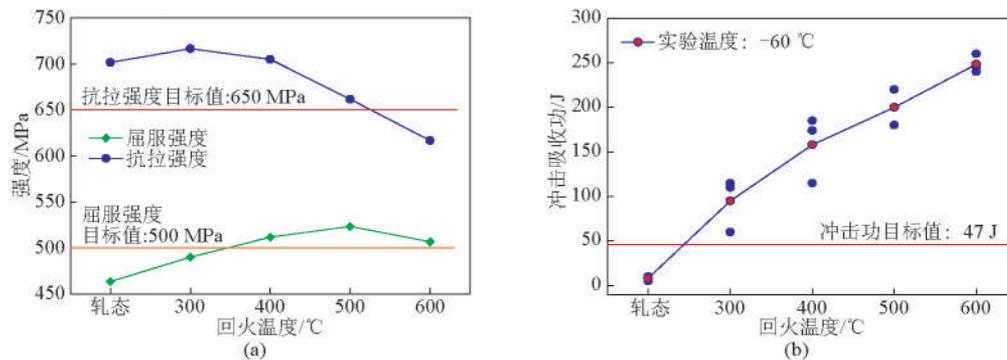


图 7 $\gamma+\alpha$ 两相区淬火+回火试样的强度与韧性
Fig.7 Strength and toughness of test steel ($\gamma+\alpha$)

$\gamma+\alpha$ 两相区组织控制: 加热至 $\gamma+\alpha$ 两相区保温时, M-A 岛逐渐分解, 释放出大量碳原子, 这些碳原子在剧烈的热运动作用下扩散至贝氏体铁素体两相界面及基体内位错密度大的微区, 发生富集, 从而容易满足浓度起伏、结构起伏、能量起伏等形核条件, 使奥氏体优先在这些区域形核。随着保温过程的进行, 奥氏体晶核沿着铁素体晶界不断长大, C、Cr、Mo 等元素富集, 提高了奥氏体区淬透性, 并且这种富集作用使得铁素体内的固溶元素减少,

“净化”了铁素体。在淬火过程中, 富碳奥氏体大部分转变为马氏体, 未溶铁素体硬度低且塑性好。

回火态组织控制: 经过两相区淬火后, 形成的马氏体体积分数约为 18.8% (如图 8 所示, 白色为马氏体, 黑色为铁素体), 这些马氏体硬相通过切变型相变遗传了两相区保温时奥氏体的高碳含量, 此时的硬质相界面在断裂过程中容易诱发断裂核心, 导致韧性恶化, 但是加以回火之后, 一方面, 马氏体发生过饱和碳的析出, 碳含量降低, 同时降低了铁素

体和马氏体两相界面的应力集中,有效改善了其韧性;另一方面,细小的析出粒子均匀分布于铁素体基体上,起到强烈的析出强化作用,从而保证了回火后厚板产品的高强度。

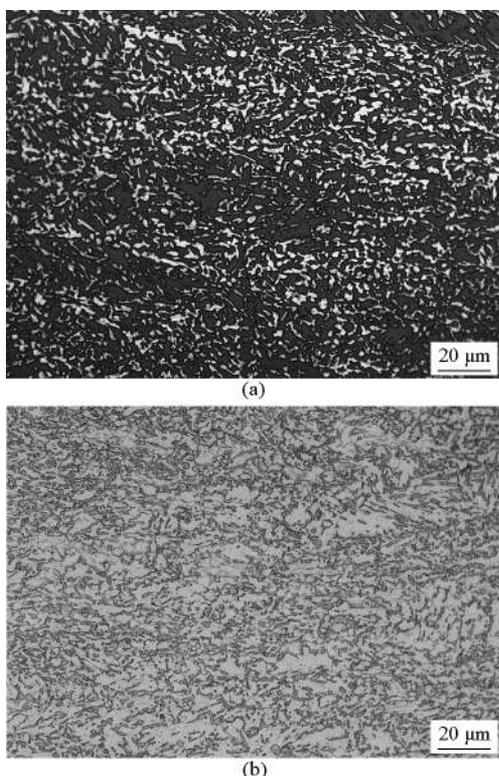


图8 $\gamma+\alpha$ 两相区淬火与回火组织

Fig.8 Microstructures after quenching and tempering($\gamma+\alpha$)

4.4 近海腐蚀控制技术^[17,18]

通过对比添加不同耐蚀元素(Cr、Ni、Cu)钢板在模拟近海环境(富 Cl^-)的腐蚀规律得知,腐蚀过程可以分为腐蚀初期和腐蚀后期两部分:腐蚀初期,腐蚀速率随着腐蚀时间的增加而增加;腐蚀后期,腐蚀速率随着腐蚀时间的增加而减少。Cr钢、Cr-Ni钢和Cr-Ni-Cu钢的腐蚀周期分别经历54、50和45周期,这个结果表明,Cr、Ni、Cu的复合添加,缩短了腐蚀初期的时间,使得腐蚀速率趋于平缓的时间减少,增强了钢板的耐蚀性能。从图9中也可看出,Cr-Ni-Cu钢的腐蚀速率明显低于其他两种钢。

图10是Cr钢、Cr-Ni钢和Cr-Ni-Cu钢在富 Cl^- 干湿交替环境中腐蚀不同周期后锈层表面的宏观及微观形貌。图10中可以看出,Cr钢腐蚀32周期后(见图10a),锈层表面呈浅褐色,局部可观察到褐色锈斑,大多锈斑附近有NaCl结晶(白色斑点),表现出不均匀局部点蚀特征,可以推断,这是由于

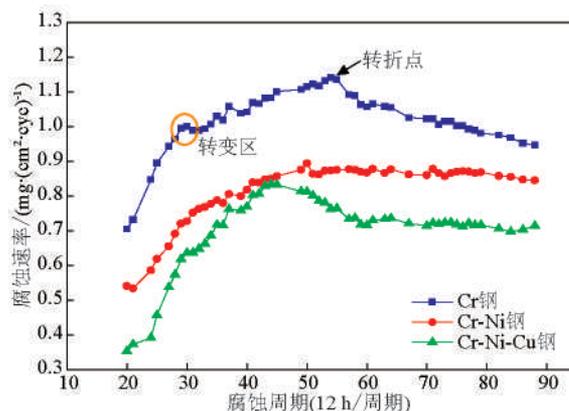


图9 添加不同耐蚀元素种类的腐蚀速率曲线

Fig.9 Corrosion rate curve of specimens corroded in testing chamber for different time

NaCl腐蚀液中的 Cl^- 在试样表面局部沉积而诱发的腐蚀,腐蚀56周期后(见图10b),锈层表面呈深褐色,颜色均匀,表现出均匀腐蚀特征,随着干湿交替腐蚀过程的进行,局部腐蚀逐渐加深、扩大并连接成较大面积的腐蚀,腐蚀产物均匀覆盖在基体表面。由图10c可以看出,Cr钢腐蚀30周期后,锈层由块状颗粒组成,疏松多孔,亦可观察到裂纹,这些缺陷均为腐蚀离子侵入钢基体提供了通道,从而加速腐蚀过程。图10d~图10f为Cr-Ni-Cu钢分别腐蚀10、30和73周期后锈层表面的SEM形貌,可以看出,腐蚀10周期后,锈层表面腐蚀产物呈团絮状分布,边缘为发散状,锈蚀颗粒间空隙大而且多;30周期后,锈蚀颗粒呈块状,变得更加细小,堆叠颗粒间的空隙依然很大,说明仍处在腐蚀初期;73周期后,块状腐蚀产物的层状堆积现象明显,锈蚀颗粒之间连接紧密,空隙减小,此时,致密锈层对腐蚀介质扩散至基体引起持续腐蚀的阻碍作用增加,保护性锈层形成。通过XRD以及EPMA结果分析得知,Cr、Ni、Cu元素的复合添加,可以促进锈层中 $\alpha\text{-FeOOH}$ 和 Fe_3O_4 致密组织的形成,从而有效阻碍腐蚀介质与钢基体表面的接触,减缓腐蚀速率。

5 工程应用

东北大学RAL实验室与国内大型钢铁企业中国首钢集团(首钢)、鞍钢、南京钢铁集团(南钢)等合作对实验室创新技术在工程实际中的应用做了大量工作,取得了显著成果。

UFC+T短流程热处理技术及强韧化技术已经应用于国内某大型钢厂,目前不但可以生产国标的

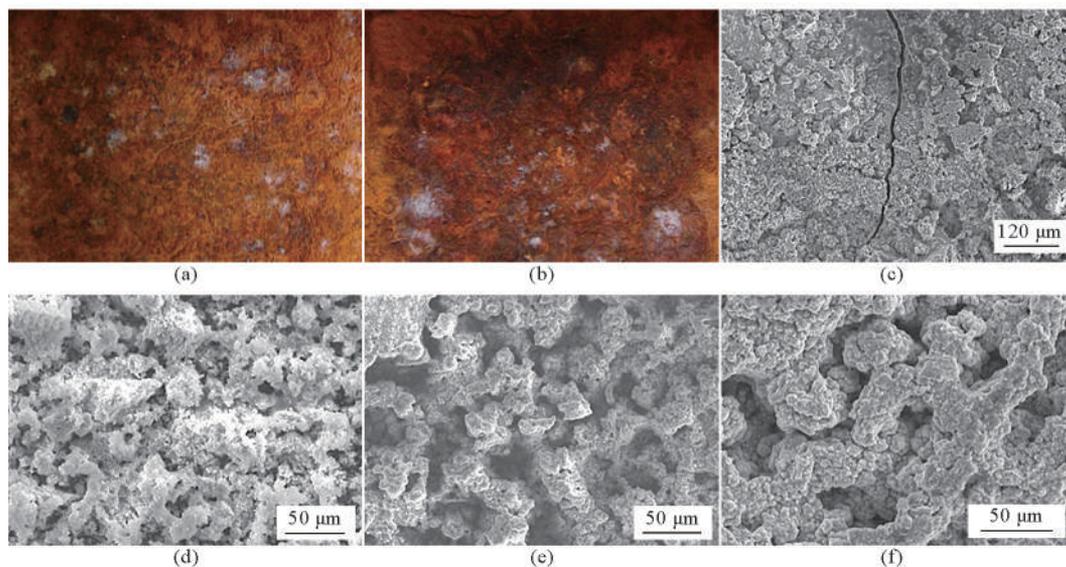
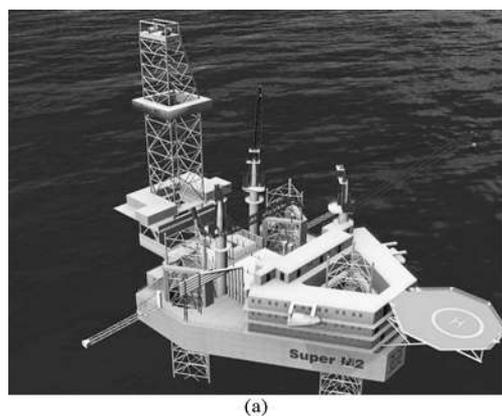


图10 腐蚀不同周期后3组实验钢锈层表面的宏观及微观形貌

Fig.10 Macroscopical and microcosmic images of rust surfaces of the three group experimental steel after different cycles

各种海洋平台及所有带Z向性能评估用钢种,还能批量生产部分EN10225标准钢种,超高强海工钢已经覆盖420~690 MPa所有级别钢种,最厚规格可以达到80 mm。2011—2012年向辽河油田装备制造公司提供海洋平台钢3 000余吨,其中12~76 mm

厚CCS/E550钢500余吨。2011年实现德国SIAG公司S355G8+M、S355G8+N-Z35海上风塔钢板18 288 t合同供货,完成扬州通宇钢管厂用于伊朗某公司的海洋平台用钢S355K2-Z35、S355J0、S355NL-Z35共计20 000多吨(见图11)。



(a)



(b)

图11 辽河油田CP-300自升式钻井平台与德国SIAG某海上风塔

Fig.11 CP-300 jack-up drilling platform of Liaohe Oilfield and offshore wind tower of SIAG in Germany

6 结语

本文总结了国内外高强度厚规格海洋平台用钢的研究发展现状,分析了此类钢板产品生产的关键技术难点,介绍了东北大学RAL实验室在高级别海洋平台用钢研究领域的研究成果,这些成果在与国内大型钢铁企业的合作研发中起到了重要作用,

也得到了广泛应用。

参考文献

- [1] 徐明宇. 海洋用钢市场潜力增大值得关注[N]. 中国冶金报, 2012-7-3-B01.
- [2] 黄维, 张志勤, 邢娜, 等. 中国海洋平台制造业现状及企钢对策[J]. 冶金经济与管理, 2012(3): 24-27.
- [3] 黄维, 张志勤, 高真凤, 等. 日本海洋平台用厚板开发现状[J]. 轧钢, 2012, 29(3): 38-42.

- [4] 王国栋. TMCP技术的新进展——柔性化在线热处理技术与装备[J]. 轧钢, 2010, 27(2): 1-6.
- [5] Kazuo Omata, Hiroshi Yoshimura, Sadahiro Yamamoto. Leading high performance steel plates with advanced manufacturing technologies [J]. NKK Technical Review, 2003, 88: 73-80.
- [6] Nishida Shunichi, Matsuoka Toshio, Wada Tsunemi. Technology and products of JFE steel's three plate mills [J]. JFE Technical Report, 2005, 5(3): 1-9.
- [7] Hayashi Kenji, Nagao Akihito, Matsuda Yutaka. 550 MPa and 610 MPa class high-strength steel plates with excellent toughness for tanks and penstocks produced using carbide morphology controlling technology [J]. JFE Technical Report, 2008, 11: 19-25.
- [8] Hiroshi Takechi. Recent developments in the continuous processing of steels [J]. Chinese Journal of Metal Science & Technology, 1990(6): 79-87.
- [9] Ryuji Uemori, Masaaki Fujioka, Takehiro Inoue, et al. Steels for marine transportation and construction [J]. Nippon Steel Technical Report, 2012, 101: 37-47.
- [10] Akihiko Kojima, Akihito Kiyose, Ryuji Uemori, et al. Super high HAZ toughness technology with fine microstructure imparted by fine particles [J]. Nippon Steel Technical Report, 2004, 90: 2-6.
- [11] 韦明, 李玉谦, 王升. 海洋平台用钢[J]. 宽厚板, 2002, 8(4): 34-36.
- [12] 金涛, 刘继勋. 海洋采油平台钢板开发与研究[J]. 钢铁, 2002, 37: 498-501.
- [13] 王国栋. 新一代TMCP技术的发展[J]. 轧钢, 2012, 29(1): 1-7.
- [14] 王国栋. 以超快速冷却为核心的新一代TMCP技术[J]. 上海金属, 2008, 30(2): 1-5.
- [15] 周砚磊, 徐洋, 陈俊, 等. FH550级海洋平台用钢冲击断裂行为实验研究[J]. 金属学报, 2011, 47(11): 1382-1387.
- [16] 周砚磊, 狄国标, 刘振宇, 等. 回火温度对500 MPa级海洋平台钢组织性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2011, 32(10): 106-111.
- [17] Zhou Yanlei, Chen Jun, Xu Yang, et al. Effects of Cr, Ni and Cu on the corrosion behavior of low carbon microalloying steel in a Cl^- containing environment [J]. Journal of Materials & Technology, 2013, 29(2): 168-174.
- [18] Zhou Yanlei, Chen Jun, Liu Zhenyu. Corrosion behavior of rusted 550 MPa grade offshore platform steel [J]. Iron and Steel Research, International, 2013, 20(3): 66-73.

Research progress and application of high performance offshore platform steel

Liu Zhenyu¹, Zhou Yanlei¹, Di Guobiao², Wang Guodong¹

(1. The State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
2. Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041, China)

[Abstract] With the development of petroleum industry in China, undersea oil and gas development has gradually extended from shallow of the continental shelf to deep waters, therefore, high strength and high toughness and excellent resistance to lamellar tearing are the properties which heavy-gauge offshore platform steel must have in the future. This paper presents the research progress on high performance offshore platform steel at home and abroad in recent years, and the key technical problems of such steel production also be mentioned. Research work and engineering applications of high-strength plates in The State Key Laboratory of Rolling and Automation, such as Ultra Fast Cooling (UFC) and $\gamma+\alpha$ quenching technique, are finally reviewed.

[Key words] offshore platform steel; toughness at low temperature; ultra fast cooling; necking development of crack