

国外油井管

生产技术的进展



冶金部钢铁研究总院

一九九三年五月 于北京

掌握国际动态，借鉴和學習国外
先进技术，推动和促进我国油井管质
量的提高，适应九十年代国民经济发展
需要。

殷瑞钰

1993.1.5.

序

积极发展石油工业钻采用油井钢管的生产是当前我国钢铁工业产品品种结构调整的重要内容之一。四十多年来，特别是近十几年来，为了发展油井钢管的生产，国家和鞍钢、包钢、成都、宝钢等有关钢铁企业都为此进行了较大的投入，建成了几条能力每年约30多万吨的专用生产线。但由于市场、生产技术和管理等方面的许多原因，至今未能完全达产。“八五”、“九五”期间天津、鞍钢等企业还将扩大投资，引进设备和技术进行新的油井钢管生产线的建设，将形成更大的生产能力。因此，当前摆在我们面前的十分迫切的任务是认真组织研究分析市场的形势，结合钢铁企业生产建设的实际情况，从各方面进一步抓紧采取有力措施，切实加强生产经营、科技管理和科研开发等组织工作，不断提高石油井钢管的产品质量，扩大品种，降低生产成本，从而保证能够及时充分发挥有关企业已建成和即将建成的油井钢管的生产潜力，不断扩大油井钢管的国产比例，提高企业和社会经济效益。国家计委批准把《高质量油井管的开发》列为“八五”期间重点钢材品种的开发项目，就是为推进上述工作的一项重要措施。

北京钢铁研究总院为了配合开发项目的实施，组织力量编译了《国外油井管生产技术的进展》文集。文集的内容相当丰富，对近十年来国外油井钢管生产技术的发展做了多方面的介绍，是值得推荐阅读的。相信这个文集对有关钢铁生产企业以及科研、设计、使用单位都能有一定的参考和借鉴作用。

希望钢铁研究总院和其他有关单位能在今后继续重视这一方面的工作，不断积极介绍国际油井钢管的生产技术的最新进展，为推进我国油井钢管的生产做出新的贡献。

冶金工业部科技司

张乃平

一九九三年一月五日

前 言

石油是现代工业、农业和国防等行业必不可少的燃料,世界石油产量自1859年开采以来,一直急剧上升,1971年为24.66亿吨,1985年增加到近40亿吨。

由于石油产量的剧增,油井数不断增加,对油井管的需求量大大幅度增长。而随着钻采条件良好地区石油的储藏量日趋减少,油井的钻采条件愈来愈恶劣和苛刻,超深油井,深水领域的海上油井,以及寒冷地带油井的开采日益普遍,对油井管的质量要求愈来愈高。

近年来,国外油井管生产技术的发展表现在以下几方面:

- 1.采用先进的转炉复合冶炼以及炉外精炼技术,保证油井管钢的成分均匀度和纯净度。
- 2.采用先进的MPM, Accu—Roll等轧管机组,保证油井管优良的表面质量和高的尺寸精度。
- 3.采用先进、合理的在线和线外热处理工艺技术,保证油井管优异的性能。
- 4.采用温矫工艺,保证钢管的残余应力最小,保证油井管可靠的使用性能。
- 5.采用表面处理技术,改善油井管使用性能,提高其使用寿命。
- 6.采用精密、先进的检测系统,保证油井管的质量。
- 7.积极开展以质量和品种为中心的试验研究,开发高强度、高压溃强度、高耐蚀性能、高低温性能和高密封性能的油井管。

我国油井管的生产,经过“六五”,“七五”期间对老机组的改造和新机组的建设,已形成约35万吨的生产能力。但是,无论是数量还是质量都远远满足不了国内石油钻采的需求。为了增加油井管的产量,提高油井管的质量,“八五”期间国家计委把“高质量油井管的开发”列为冶金部重点企业品种开发项目。为配合项目的进展,掌握国外油井管的生产技术动态,冶金部钢铁研究总院编译了“国外油井管生产技术的进展”文集。

文集检索了80年代以来的文献,相关文章450篇,有针对性的筛选出48篇文章,计40余万字。主要内容是:套管和钻杆(接头)的钢种及生产工艺的改进;抗 H_2S 等腐蚀介质油井管的钢种及生产工艺的开发;套管压溃特性的试验研究,以及与油井管生产技术相关的其他内容。由于篇幅所限,还有些有关内容将配合“高质量油井管开发”项目的进展,以后分专集出版。

为了节省篇幅,译文中图、表以及内容有所删减,译文采用的单位也与原文相同。按我国统一实行计量单位,长度、力、能应分别作如下换算:

$$1\text{英寸(吋)}=0.0254\text{m};$$

$$1\text{kgf/mm}^2=9.80665\text{N/mm}^2;$$

$$1\text{kgf}\cdot\text{m}=9.80665\text{J}; 1\text{psi}=6895\text{pa};$$

文集由冶金部钢铁研究院十九室和一室组织编译。冶金部殷瑞钰副部长,科技司张乃平副司长,钢铁研究总院刘怀文副院长给予了很大的关注和支持,科技司轧钢处李世俊处长,计划处兰德年工程师给予了具体的支持,指导。

参加文集翻译工作的有王玉砚、钟倩霞、周民生、韩宝云、赵淑萍、崔乃俊、肖文涛、徐平国、耿文范、牟慧研、黄桂煌、宋振波、林祚喜等同志；张玉凤绘图。

由于时间仓促，水平有限，本文集一定有不妥之处，希望读者批评指正。

最后，对支持文集编译出版工作的单位和有关同志致以深切的谢意。

主编：钟倩霞 王玉砚

1993年5月

目 录

一、套管与钻杆

1. 在自动轧管机组作业线上生产高强度套管	(1)
2. 套管生产工艺的完善	(1)
3. 深井用高强度套管	(3)
4. 石油套管和钻杆生产的掌握	(6)
5. 热精加工前加热温度对套管质量的影响	(7)
6. 高强度油井套管对焊接头的热处理	(8)
7. 优质套管接头的开发	(12)
8. 《K》级重钻杆和方钻杆用钢	(17)
9. 32XΓ2CAΦ钢钻杆的生产	(18)
10. 钻杆的制造与性能	(19)
11. 钻杆淬火的现代化冷却装置	(25)
12. 钻杆焊后淬火采用水-气冷却	(27)
13. 钻杆接头的热处理	(32)
14. 带焊接接头钻杆制造技术的掌握	(33)
15. 卧式锻压机锻制钻杆工具的设计要点	(35)
16. 铝合金钻杆在实际工作中的强化	(38)
17. 隔热性优异的油井管接头	(41)
18. 油井管环形腐蚀的防护	(43)
19. 用断裂力学评估钻杆的疲劳寿命	(45)
20. 深气井套管的抗断裂性能	(51)

二、抗硫化氢等腐蚀介质的油井管

21. 耐硫化物应力腐蚀破裂及抗压溃油井管的开发	(58)
22. 耐蚀油井管钢的生产工艺	(62)
23. 耐蚀性优异的油井管的制造方法	(66)
24. 耐腐蚀、耐SSC性能极好的马氏体不锈钢及其热处理方法	(70)
25. 15%Cr油井管钢的开发	(75)
26. 油井用高强度耐蚀合金管	(79)
27. 高合金油田管件的耐应力腐蚀破裂性能所要求的镍、铬临界含量	(83)
28. 油井管用马氏体不锈钢	(87)

三、套管的抗压溃特性

29. 套管抗压溃的新经验公式	(93)
30. 在外压和外载荷作用下套管的压溃抗力	(98)
31. 轴向拉伸载荷对油井套管压溃强度影响的试验研究	(103)
32. 外压下无缝油井套管的L/D对压溃压力的影响	(115)
33. 油井套管的压溃	(122)
34. 射孔后套管压溃的有限元分析	(129)

四、其它

35.美国、澳大利亚钢铁工业考察印象.....	(136)
36.1990年国际深油井钻探成本降低18%.....	(144)
37.生产石油、天然气用管材产品的现状.....	(145)
38.无缝钢管生产对材料和工艺提出的要求.....	(154)
39.微合金化钢在生产无缝管管线及OCTG管的应用.....	(159)
40.油气井用低合金高强度钢管.....	(164)
41.油井钻杆涂层的重要性.....	(173)
42.用气热涂层法强化钻井设备零件.....	(175)
43.油井用顶锻钢管的制造方法.....	(176)
44.石油钢管用新型顶锻机.....	(178)
45.22ΓЮ钢套管的耐蚀性.....	(183)
46.断裂力学概念提供了帮助计算钻杆疲劳寿命的模型.....	(185)
47.32Γ2热强化钢的冲击韧性与断口特征的关系.....	(190)
48.优良耐蚀耐磨性的复合油井管.....	(193)
49.石油钢管无损检验方法的比较.....	(196)

• 套管与钻杆 •

在自动轧管机组作业线上生产高强度套管

在阿萨拜疆钢管厂的250-2自动轧管机组作业线上,世界上第一次实现了高温形变热处理(BTMO)应用于高强度套管的生产。预计可以生产直径 $\phi 114 \sim 168 \text{mm}$ 、壁厚 $5.2 \sim 12.1 \text{mm}$ 的管材。BTMO作业线的生产率与热轧线的相等。

因为BTMO作业线是在250-2机组改造时建成的,热轧线就保持原样没变。因此,在250-2轧管机组的均整机以后的工艺流程分为两条作业线:热轧线和BTMO线,其主要设备组成有:安装在均整机出口侧的钢管内外冷却装置、步进梁式回火炉、用于钢管温定径($470 \sim 680^\circ\text{C}$)的九辊定径机、PBK1000×3温矫机,可防止钢管成品弯曲的旋转辊轮式冷床。

应该指出,由于钢管变形后立即淬火冷却,所以将第一部分的外喷射器与料槽装在一起,而内喷射器与顶杆装在一起(顶杆喷射器)。

均整机的水淬钢管工艺有许多重要优点:

一钢管迅速旋转时内外同时冷却;

一冷却设备与轧制工具和可更换件装在一起;

一淬火是在无氧化铁皮的清洁表面上进行的。

生产高强度钢管最好用 $0.17 \sim 0.35\% \text{C}$, $0.50 \sim 0.80\% \text{Mn}$ 碳素钢(ГОСТ632-80的E、Л、M级)和 $0.28 \sim 0.35\% \text{C}$, $1.0 \sim 1.4\% \text{Mn}$ 的低合金钢(P和T级)。根据淬火钢管的碳锰含量不同来选择回火温度。

耐寒高强钢管应具有很高的塑性和强度。这样,一些试样可压扁到管壁相互接触而不破裂。此外,BTMO作业线上生产的碳钢管还可以用作耐寒管。

在所掌握的250-2机组的BTMO工业生产线上制定并实现了一系列技术方案,并核准和执行用碳素钢和低合金钢32Г2生产符合ГОСТ632-80要求并确保A类规格尺寸精度的全部高强度套管的技术规范(TU163-03-29-88)。

计算表明,即使生产数量较少的E和Л级(35000吨)及K级(10000吨)钢管,年经济效益也可达 2.7×10^6 卢布。

周民生译自《Металург》,1991, №4, 34, 钟倩霞校

套管生产工艺的完善

我们厂采用本厂生产的钢锭在5~10"二辊皮尔格机组上用普通方法(对ОД钢)、淬火+回火的调质方法(对30T2钢)生产套管的。钢是用平炉冶炼的。

为了提高ОД钢的质量,在钢包中加入硅锰合金,其粒度为50mm,其量为8~9kg/吨钢,进行彻底脱氧及加入铝合金。这种工艺节约锰铁,并获得了 $0.43 \sim 0.49\%$ 碳含量金属,还可以缩短冶炼时间,降低金属的气体饱和度。采用这种工艺可增收效益6万卢布。

工厂同时生产Mn含量为 $0.5 \sim 0.8\%$ 的以Ti微合金化的ОД钢,这样可以降低钢中锰铁的含量,改善钢管的机械性能,提高钢管的冷脆性极限。

目前,已采用钛微合金化的30T2钢生产高强度套管,这样可以提高钢管在北方寒冷地区使

用的可靠性。

改进了两个机组的穿孔机的辊型设计。如增加辗轧锥角 $40'$ ，减小轧辊定径段直径7mm。工厂会同全苏钢管研究所为延伸机制造了咬入锥角为 4° 、压缩段长度为20mm以及由变带（段）、反锥和出口段组成的横向辗轧锥的轧辊，同时改进了延伸机。

所有这些都能保证顺利咬入，减少毛管的椭圆度，弯曲度和壁厚不均，避免钢锭穿孔被卡住，用高岭土耐火棉包住钢锭头部保温，所以保证穿孔过程稳定。由于改变工作辊的孔型设计还减少内折造成的金属损耗0.84%。

为了提高皮尔格轧机芯棒的寿命，减少壁厚为10.6mm的套管的壁厚不均，提高其尺寸精度，采用了直径为 $\phi 154 \sim 155$ mm芯棒和 22° 横向伸出角的皮尔格轧辊。大大提高芯棒的寿命和降低用40XГСА和Д-1钢制造芯棒的工作量，同时促进开发热处理的新工艺——芯棒最终机加工后用水代替油进行间断淬火。

热处理后芯棒表面形成一层保护氧化膜。这样消除了向新的芯棒表面涂液体玻璃和石墨向荒管内把掷食盐的繁重的工序。

我们工厂的1*车间按ГОСТ 632-80B类专门生产套管。目前，车间的修整工序分阶段进行了全部改造，按ГОСТ 632-80A类标准更换了生产套管和接头的车床。

为了生产这种钢管，对按外径的最佳尺寸，并考虑到获得高质量的螺纹和减少其尺寸的加工余量，从而节约金属的方案进行了研究。对钢管的螺纹进行分析表明，所有的规格完全符合ГОСТ 632-80B类标准的要求。这时，管子尺寸 $\phi 168 \times 7.3$ mm， $\phi 140 \times 7.7$ mm，壁厚为最小值时，没有出现黑皮扣和尺寸不足的废品，95%的管子在裕量小于3.2mm时，管壁上螺纹部分的厚度为2mm和大于2mm，甚至在按壁厚的下限轧制时也是如此。根据研究，确定了在现有定径、减径孔型上，在偏差 ± 0.75 范围内，减小外径生产A类管的可能性。

由于生产场地所限，研究了通过定径和减径提高外径精度，获得具有优质螺纹的A类管的可能性。为此，在精整线上增设了水压机以便在车削前进行管端定径。准备了难度最大的尺寸为 $\phi 168 \times 7.3$ 、 $\phi 140 \times 9.2$ 、 $\phi 140 \times 7.7$ mm的管子，用以确定管壁上螺纹部分的最小厚度和单支管重偏差为 $(+6.5) \sim (-3.5)\%$ 的可能性。成品检验时，所有管子都符合ГОСТ 632-80的A类。只有2%的尺寸为 $\phi 168 \times 7.3$ mm的管子，在最小壁厚为6.4mm时，得到管壁上螺纹部分的最小厚度为1.8mm。个别管子的裕量小于3.2mm和0.23%的尺寸为 $\phi 168 \times 7.3$ mm的管子超重15%；其余的减重7.2%，研究还表明，用外径负偏差0.3%是不适宜的，因用精密仪器检测发现有高的螺纹废品率（达25%）、断面尺寸不足和内径的废品。

根据研究结果确定，为生产A级套管保证车螺纹的外径应该是 $\phi 168$ mm管为 $\phi 168.3$ mm， $\phi 139.7$ mm管为 $\phi 140$ mm的最小外径。

在精整线外装设套管管端定径的水压机时，这个作业可主要用于尺寸复杂的和特殊扣型的钢管。

在两个车间采用了用硬质合金的刀具，进行加压重车和金刚石研磨的工艺，以提高其强度和使用寿命。

在热处理车间淬火套管时，采用了第聂泊尔冶金学院设计的喷射冷却装置，这样保证了管子均匀、高速、可调的冷却制度。钢管在淬火冷却系统的改变，这就完善了强度为E，II和M级套管的热处理强化工艺，因而使它们的机械性能有足够的富余量，提高了可靠性，这对在北方条件下使用特别重要。

在入式检查装置YKT-1A中采用新型电压传感器ДПY-1和改变自动装置系统,这样保证了管子检验的可靠性。每支管子通过在自动记录带上显示出来,当发现缺陷时,接通信号装置,打上红色记号,钢管从流水作业线上被抛出。

生产管接头的专门组织可为生产厂对所有套管提供金属保护环。工厂的中心自动化和机械实验室,以带钢卷为原料生产带螺纹的金属保护环,并设计了专门的生产线。在生产线上设置了开卷机,压制保护环压力机及其滚压三角螺纹的设备。按照在保护环上滚压这样的螺纹和在保护环和接头上滚压特殊螺纹进行准备工作。

为了满足套管按ГОСТ 632-80A类标准的个别要求需装备新的生产线,装备接头电镀设备,其镀层厚度可达到 $30\mu\text{m}$,装备新型管接头拧接机,现代化或者更换水压机。

钟倩霞译自《Металлург》, 1985, No.9, 26—29, 周民生校

深井用高强度套管

根据近年来探测新油井和天然气井的结果来看,钻井的深度必须越来越深。因为新的钻井工艺、工具和设备已推广,所以深度为20000~30000英尺的钻井建得越来越多。这些钻井主要是利用实际钻井经验而开发出来的。历时641天、花费500万美元建成了钻探深度为28500英尺的一口井,结果,这口井是开孔,并因之而报废了。在1972年,共钻了井深达到20000英尺以上的49口井。其中有26口井是属于盲目开掘的,另外23口井属于油田开发的油井,有20口井成为生产用井。

由于在深井里遇到极大的向下钻孔压力和拉力,所以需要一系列高强度套管。这些油井需要最低屈服强度高达150000psi的套管。焊接接头的强度、抗压溃强度、内屈服压力、权重因数和抗拉强度是预先在设计钢绳时就应精心考虑的因素。因为深井可能会有各种未知因素,所以钢绳的设计也必须是实用的。高强度钢用来制造深井中用的导架钢绳、中间钢绳、牵引钢绳和井底生产用钢绳。特深深井主要建在美国南方和西南部。俄克拉何马城的阿纳达柯盆地是合适的深井开发区。

高强度套管

共和钢公司根据用户的要求而加强了研究工作,开发了最低屈服强度为125000、140000和150000psi的深井用高强无缝套管。不一定非得使用屈服强度之差仅为10000psi的两种套管钢,但是每个用户可以有他自己的选择。看来在125000至150000psi屈服强度范围内选择一种或两种标准化钢是比较实用的。

共和钢公司生产三种钢,即RS-125、RS-140和V-150,并用这种钢制成符合API 5AX标准的所有适用部件。最新技术规程包括最低屈服强度为110000psi的p-110级套管。除了规定物理性能和尺寸公差之外,该技术规程还要求套管进行全长度无损检验,如果套管的壁厚未减少到标称壁厚的87.5%以下,则须通过抛光而除掉其深度大于标称壁厚5%的所有缺陷。

化学成分

共和钢公司用电炉或平炉冶炼这几种钢。采用AISI细晶粒钢4130至4135,在熔炼时,根据对各种钢的特殊要求而精心地控制化学成分。共和钢公司之所以开发这些特殊的化学成分钢不仅仅是为了得到所希望的屈服强度和抗拉强度,而且是为了得到足以产生100%马氏体组织的淬硬性以及贯穿整个套管的较高的硬度和物理性能。

尺寸

钢管必须按照严格控制的尺寸要求进行穿孔。有些套管具有特殊的穿孔尺寸；有些套管的直径大于普通API标准的直径，可以应用于超尺寸设备以及其他可以穿过的管子。为了附加提高可靠性和强度，一般规定壁厚超过API标准尺寸 $\frac{1}{8}$ 至 $\frac{3}{4}$ 英寸。

淬火

为了得到所需要的较高物理性能，所有的高强度套管都是经水淬及回火处理的。在共和钢公司，为了保证淬火均匀以及为了充分利用淬硬性，利用试验而开发了高强度套管的特殊热处理工艺。淬火时采用环形外部喷水。图1和2（略）示出淬火机组。该机组包含两个分别独立控制的以一定角度倾斜的喷嘴装置，一个喷嘴装置装在管子运行的同一方向内，另一个喷嘴装置装在相反方向内。这样就可以进行均匀淬火，防止水进入管子内侧，从而避免淬火裂纹。甚至少量进水都会引起淬火裂纹。

为了形成100%马氏体组织从而得到最佳强度和韧性，必须保持精确的淬火速度。这样就能保证套管的末端以及整个管壁都具有均匀的性能。因此可以保证石油、天然气工业用的这种套管的可靠性。套管必须承受深井中特别大的下钻压力，这里，一根套管的断裂都会付出昂贵的代价。

表面检验

在热轧和热处理条件下，要采用无损检验电磁检验法检验每根管子的纵向和横向表面缺陷是否符合API 5AX标准。抛光及热处理之后、发货之前都要细心测量所有的尺寸。图3（略）示出共和钢公司科研中心开发的涡流检验法（Orbi法和Farrow法）。利用Orbi法可以检验纵向表面缺陷，利用Farrow法可以检验横向和点状缺陷。

高强度套管往往在发货之后由石油公司雇用的私人检验公司对表面质量和尺寸进行最终检验。

精加工

为了保障焊封可靠并减小连接处的应力，高强度套管通常需要进行专门的整体接头的精加工。一些套管运送到Hydril、Atlas-Bradford等公司进行精加工。有时规定采用普通API丝扣或梯形丝扣，存在独特的切割和攻丝问题。由于套管的硬度高达40Rc，所以必须使用专用工具并进行特殊润滑。

高强度套管的要求

表1列出共和钢公司三种高强钢的抗拉强度规格。所提供的屈服强度范围是25000~30000 psi，这是对高强度钢的基本要求，通常生产这些钢只为满足抗拉强度要求。

表1 共和钢公司的三种钢RS125、RS140和V150的技术规格

钢 种	屈服强度, ksi	抗拉强度, ksi	延伸率, %
RS125	125~150	最低 135	按API公式
RS140	140~165	" " 150	按API公式
V150	150~180	" " 160	按API公式

高强度套管还需要其他技术要求，最主要的是要控制屈服强度范围（15000psi）。为了达到这一严格的范围，必须采用严格控制的化学成分和热处理工艺。如果有这种方式的订货，共和钢公司可以在该控制范围内生产高强度套管。

其他要求还包括冲击强度、最高硬度以及全壁厚硬度限制。因为这些高强钢种只是最近才开发的，所以共和钢公司目前仍然在研究这三种钢的冲击强度级，以便确定典型结果的全转变曲线。采用硬度自动在线检验装置检验最高硬度极限，套管的每个末端都有一个检验装置（图4略）。套管稳固地定位，碾压一个平缓面，用以消除脱碳表面层。碾压面的尺寸是：长1.5英寸、宽0.5英寸、深度为0.010~0.020英寸。大范围地检验碾压面以及调整碾压刃具的结果是形成一个光滑面，该光滑面没有冷加工效应或者对套管的强度级没有影响。对于这一平缓的碾压面进行了布氏硬度检验并用电子手段分析和记录了硬度。可以根据需要，将这一硬度级换算成洛氏硬度或布氏硬度。

利用全硬度换算图表可以很容易地检验所希望的任何一个硬度级。这些换算图表是通过在试验室和碾压车间进行硬度对比检验和统计数据分析而开发出来的。

特种套管

在设计深井时，还大量采用了低强度套管和特殊性能套管。接近表面处可以采用N80和P110普通API钢。导架和中间生产用钢绳可以采用特殊的非API钢种，例如钢C90。共和钢公司生产的RS90钢就属于这种钢，它的强度级高于N80改型钢种，并具有良好的硫化物应力腐蚀破裂抗力，特别适于制造酸性环境深井套管。按照API 5AC标准进行全镇静、淬火及回火的AISI 4130至4135钢可用来制造这种套管。

除需要（依赖于壁厚的）最高全壁厚硬度级和最高、最低硬度之外，还需将最高和最低屈服强度、抗拉强度控制在15000psi的范围以内。还规定，为了提高强度和安全系数，用这种钢制成的大多数套管的壁厚都要大于普通的API壁厚。这种钢也需要进行特殊精加工。表2列出共和钢公司对这种钢的物理性能的要求。

表2

共和钢公司RS90钢的技术规格

屈服强度 PSi	抗拉强度 PSi	延伸率 %	全壁厚硬度 RC	最大硬度	最高允许全壁厚硬度级差 壁厚 硬度RC
90/105000	105/120000	按API公式	最低19.5 最高25.4	255Bhn (25.4RC)	≤0.500" 0.501"~0.749" ≥0.750"
					3.0 4.0 5.0

共和钢公司利用在线硬度检验装置检验每根管子的两个末端的最大硬度。在加工末端之前，取环形试样以便检验全壁厚硬度。

硫化物引起的应力腐蚀破裂

硫化氢问题是深井开发中的重要课题。已知酸性环境可以导致硬度为22~25RC以上高强度套管产生应力腐蚀破裂，并且可能发生快速断裂。利用RS90钢制成的套管没有因为深井的酸性环境而出现问题。

然而目前的一些现代化的钻井计划促使石油和天然气公司钻探有酸性环境的深井。这就

需要一种其硫化物应力腐蚀破裂抗力与C90钢一样高的高强度套管钢。钢C90采用AISI钢4130~4135标准,但是化学热处理成较高的强度级不能完全提供与C90钢一样的硫化物应力腐蚀破裂抗力,目前石油公司和共和钢公司都在研究这一课题。看来需要开发一种新钢种,而不是采用当前的普通钢种。除了碳和残余元素外,还研究了其他合金元素。将硫和镍含量降到非常低,在试验中,往普通钢和试验用钢中添加了硼、铌和钒,用以提高淬硬性和保持较高的硫化物应力腐蚀破裂抗力。研究了夹杂元素对电炉、平炉和顶吹氧气转炉炼钢的影响。还考虑了几种高铬不锈钢。

共和钢公司检验了N80改型钢种、RS90钢和几种试验用钢的硫化物应力腐蚀破裂抗力。图5(略)示出检验用装置。从套管上取一块条状试样,机加工成一个V形缺口。在给定的载荷级之下,试样以悬臂梁形式加载。V形缺口暴露在硫化氢蒸馏水溶液里,并受到侵蚀,试样断裂之前所经过的时间确定了硫化物应力腐蚀破裂抗力的程度。

总结

总之,为寻找新的石油和天然气源而探测深井的结果是开发了一系列高强度套管。制造这些套管需要采用精心淬火和回火的合金钢,需要精心检验这种钢是否有较高的物理性能。C90等特殊钢种可以应用于深井。共和钢公司可以采用通过试验开发的化学成分和特殊淬火回火工艺可靠地生产所有这些钢种,并且可以精心地检验表面质量、尺寸和物理性能。不久便可以在酸性环境里钻深井,目前正在开发具有相当高的硫化物应力腐蚀破裂抗力的高强钢。

赵淑萍摘自《Mechanical Working and Steel processing》XII, Doltén, U.S.A., 23~24 Jan. 1974, 335~339

石油套管和钻杆生产的掌握

阿塞拜疆钢管厂与乌克兰科学院和全苏炼油工艺研究所,研制了钒的氮化物强化的32XГ2CAΦ钢并掌握了在150吨电炉内冶炼、浇成4.5吨的钢锭和套管生产工艺。

硅、锰、钒合金化的规范工艺及铝脱氧,保证了化学成分的稳定。出钢前用锰和硅预脱氧7~15分钟,再经炉内钢液中加入铸态的铬铁合金ΦX015H2获得了所要求的氮含量。这保证了实际上全面地控制氮及其均匀分布。

钢中含钒量为0.08~0.12%、含氮量为0.012~0.018%时,锰的氮化物相的充分溶解的温度低于钢锭和管坯的轧制和钻杆端部加厚的加热温度。所以上述范围的钒和氮的合金化并不降低金属的热态可变形性,它相当于36Г2C钢的水平。

采用38XГ2CAΦ钢,无论是热轧态(580~650℃回火)还是正火态,都可以保证获得《E》和《Л》级强度。套管回火后的残余应力为18~30MPa。热轧态钻杆的残余应力不超过30MPa,在工序衔接需停放时不会引起冷裂纹的扩展。所以,32XГ2CAΦ钢的钻杆热轧时不需要回火。

127×10mm的《E》和《Л》级ТБПK钻杆的力学性能,在端部加厚以后用正火的方法来达到。正火后的残余应力为7~12MPa。所以正火后钢管不需要回火。

32XГ2CAΦ钻杆正火态的性能,位于下列水平范围: σ_s 8~10.7MPa; σ_b 6~7.9MPa; δ_{19} ~26%; ψ_{48} ~66%; α_k 0.8~1.2MJ/m²,它取决于加热时的奥氏体化温度,对于《E》和《Л》级的钻杆分别为900~940和950~980℃。两个加热区间的奥氏体晶粒尺寸按ГОСТ

5639-65为9~10级。正火钢管的金属显微组织由细小的索氏体型的珠光体、一部分贝氏体和网状铁素体组成。

32XГ2CAΦ钻杆还具有高的耐寒性和疲劳强度。表内列出了不同试验温度下的冲击韧性和冲击试样断口的特征。《E》级钻杆的台式试验结果表明,持久强度为95MPa。

这样,钒的氮化物强化的铬硅锰钢管回火态或正火态都符合套管或钻杆的《E》级和《Л》级的强度和塑性的要求,可用以取代38XHM钢。

钻杆在不同试验温度下的性能

温 度 ℃	冲击值 a_k MJ/m ²	裂纹形成功 a_3 MJ/m ²	裂纹扩展功 a_p MJ/m ²	韧性断口 %
+20	1.21	0.59	0.64	100
0	0.97	0.57	0.40	100
-20	0.95	0.53	0.42	100
-40	0.88	0.48	0.40	80
-60	0.84	0.045	0.39	60

周民生译自《Металлург》, 1987, №7, 钟倩霞校

热精加工前加热温度对套管质量的影响

苏联塔甘罗格冶金用32Г2和ОБсД钢(45号钢)分别生产口径为140mm和168mm的Ⅱ级强度套管。热精加工(减径或定径轧制)前在连续式加热炉中再加热。为了确定钢管加热温度对其机械性能、工艺性能以及残余内应力的影响,在轧管车间对减径或定径(视直径而定)前在炉内加热到800~1000℃的套管进行了研究。同时,测量了钢管的出炉温度和进出减径机的温度以及轧机负荷。温测结果表明,钢管在炉内的加热温度越高,由辊道运至轧机的热损失也越大。钢管加热温度为950~1100℃时,送至轧机前均有较大温降:直径为168mm钢管的温度降至860~880℃,直径为140mm钢管的温度降至830~850℃。从热消耗观点来看,钢管加热到1000℃以上是不合适的。

根据Давиденков公式,可以求得加热到不同温度下钢管的残余内应力。计算结果表明,在炉内加热到900~1000℃的钢管具有最小应力。

轧机负荷测量结果证明,从减低负荷的观点来看,钢管加热的最佳温度是900~1050℃。在测定Ⅱ级强度套管热精整后的全曲率时确定,钢管加热到980~1010℃,其曲率最小。套管在不同加热温度下的压扁试验指出,所有试验结果都令人满意。

140mm直径的32Г2套管在不同加热温度下的机械性能都符合ГОСТ632-80的Ⅱ级强度的要求: $\sigma_b=681.1\sim710.3$ MPa、 $\sigma_s=374.4\sim436.1$ MPa、 $\delta_5=16.0\sim24.8\%$ 。168mm直径的ОБсД套管加热到1000℃时也符合ГОСТ632-80的Ⅱ级强度要求: $\sigma_b=759.5\sim768.8$ MPa、 $\sigma_s=384.2\sim394.9$ MPa、 $\delta_5=16.0\sim19.5\%$ 。但是,当加热温度为1000℃或更高时, σ_s 比ГОСТ632-80Ⅱ级强度管的值低30~40MPa;当加热到830℃时,延伸率比标准值低1~2%。

在研究用于上述制造套管的32Г2和ОБсД(45号钢)两种钢号的奥氏体晶粒长大动力学时确定,当加热温度到1000℃时,ОБсД钢保持细粒组织,晶粒均匀长大。加热温度高于1000℃时,晶粒尺寸随加热温度的关系曲线呈陡峻上升。对于32Г2钢,这个温度为1040℃。

这样,以减小热损失、减小轧机负荷、降低材料内应力、机械性能与工艺性能的稳定性、金属的组织等综合因素考虑,Ⅱ级强度套管热精加工前的最佳加热温度是950~1000℃。

王玉砚译自《Сталь》,1990, No.9, 85~86, 匡方校

高强度油井套管对焊接头的热处理

近年来,高强度钢金属结构的焊接工艺得到了飞速的发展,其结构的可靠性不断提高,材料消耗量呈降低趋势。但是,采用提高碳含量和一般元素合金化方法强化钢的材质导致可焊性变差。因此在研究焊接工艺过程的同时,还建立了使钢具有高的机械性能和满意的可焊性相配合的合金化新系统。

为了制造油井套管,研制了两种焊接性能优异的钢号 20Г2СФБ和 20ХГ2Б。这两种管材在非热处理状态下的强度水平为750MPa,调质后强度达900MPa。按照为Ⅱ级强度($\sigma_b = 650\text{MPa}$)的和规定连续熔对接钢管采用的工艺,在钻井上方完成钢管的连接,在热状态下冲掉焊瘤,用压缩空气加速接头的冷却。

同时,在石油工业中广泛采用通常改变化学成份或者采用热处理(即淬火加回火)来达到高强度套管的强化。性能差的套管采用螺纹连接,此外,在钻井时,在很多情况下合理采用焊接性能不太好的高强度对焊套管。

这些套管材料可含 0.5% C、1.5% Mn、1% Cr 及其它强碳化物形成元素。因为上述工艺的特点是具有快速冷却接头,这类钢管在焊接时,在大气温度淬火(3ТВ)中会发生非扩散型奥氏体转变。因此在不太高的载荷下,连接区可能产生形成裂纹和断裂的危险。由于这个缘故,必须对焊接性能差的高强度钢管找到可靠的最佳连接条件,以这为基础提出改进现在的焊接工艺的途径。

研究是以焊接热处理强化钢管的已知方法为基础,也就是用压缩空气使接头区从焊接加热温度强制冷却淬火,随后回火。在研究中使用的扁平试样都是从不同强度的钢管上切取下来的。表1列出了各试验钢的化学成份,由表1可以看出,根据对熔接焊采取的标准,所研究的钢都与有限的可焊钢种($C_{\text{当量}} > 0.45\%$)有关,它们的机械性能符合标准的要求(表2)。Ⅱ级强度的钢例外。因为这种钢的强度低于标准规定值。E钢($C_{\text{当量}} = 0.70\%$)的抗裂性小,C-75钢($C_{\text{当量}} = 0.52\%$)的抗裂性高。后者经31次淬火处理仍未出现裂纹。

表1 试验钢的化学成份

强度级	元素的平均含量, %						C _{当量} %
	C	Mn	Si	Cr	S	P	
P-110	0.33	1.30	0.24	0.30	0.027	0.023	0.54
C-75	0.24	1.10	0.15	0.58	0.015	0.021	0.52
E	0.38	1.30	0.28	0.86	0.019	0.022	0.70
Ⅱ	0.40	1.45	0.60	0.15	0.036	0.036	0.64

表2

试验钢的机械性能

强度级	标准要求		不少于三个试样的机械检验结果			
	σ_T, MPa	σ_B, MPa	σ_T, MPa	σ_B, MPa	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
P-110	≥ 758	≥ 862	883.0...912.6 899.7	985.7...1010.4 996.3	18.0...18.3 18.1	66.0...67.9 67.3
C-75	≥ 517	≥ 655	621.4...628.6 625.0	750.5...753.6 751.2	23.3...25.0 24.2	75
E	≥ 552	≥ 758	857.1...921.4 890.4	1007.1...1010.8 1008.3	18.3...18.5 18.4	59.9...62.0 60.6
JI	≥ 655	≥ 862	525.0...535.7 532.1	753.6...757.1 755.9	24.3...24.7 24.4	57.8...59.9 59.2

表3

碳当量对焊缝裂纹形成的影响

强度级	C当量, %	出现裂纹前的淬火最低次数
P-110	0.54	13
C-75	0.52	>31
E	0.70	3
JI	0.64	12

在原始状态下试验钢均具有较高的塑性 ($\delta=18\%$, $\alpha=180^\circ$) 和冲击韧性 ($KCU=136 \sim 246 \text{ J/cm}^2$)。

如上所述, 焊缝接头自焊接温度淬火后, 还应进行回火处理。这一操作可在高频感应加热器中, 在稳定的条件下顺利完成, 高频感应加热器是由发电机供电, 但是对于野外条件由于所使用的电源十分笨重, 这种设备就不适用了。因此在制定工艺过程中, 应预先考虑采用焊接电流通过接头的方法进行回火加热。

这一操作的完成会使焊接周期延长。所以必须确定最低的容许回火温度以及在该温度下的保温时间。此外, 在考虑用焊接机电接触加热钢管的特性以及焊接装置所使用的电源功率的有限性时, 应选择加热制度和最佳加热参数。

通过实验确定了所研究钢的初步回火温度。为了实现这一目的, 测量了对尺寸为 $40 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ 试样在水淬和不同温度下回火后的硬度。试样在实验室的室式炉进行淬火和回火加热, 并在回火温度下保温30分钟, 随后自然冷却。试样的硬度和回火温度的关系示于图1。

根据文献[4]的资料, 焊接接头的容许硬度不应超过HV360。在 $380 \sim 480^\circ \text{C}$ 的回火温度下提供了这一硬度水平的保证 (见图1)。在一定的条件下中碳钢焊接接头的热影响区金属硬度可能超过HV400; 但此时并不

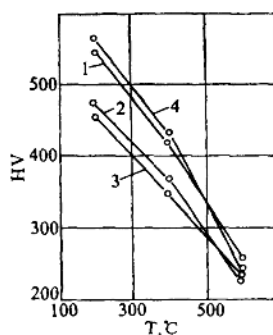


图1 试验钢的硬度同回火温度的关系
1为钢E; 2为钢P-110; 3为钢C-75; 4为钢JI

产生焊缝裂纹。应该指出,由于在焊接的实际条件下产生快速加热,回火时的相变、组织、碳化物的弥散程度及接头性能均与炉内回火条件下慢速加热情况下的有区别。因此,为了确定焊接后状态下接头的最佳回火温度,测定了焊接周期内加热温度对试验钢相变的影响。用高灵敏度的膨胀仪研究了奥氏体相变,然后观察了组织,测量了钢的硬度并对模拟试样进行了测磁和膨胀研究。在高灵敏膨胀仪上对模拟试样完成了加热与冷却制度,该制度对钢管的对焊工艺是有代表性的。试样尺寸为 $60 \times 7 \times 2 \text{ mm}$, 经瞬变电流加热进行模拟, 正如图 2 所示, 模拟冷却循环与实际相符, 模拟冷却循环使用了压缩空气冷却。在热影响区加热的循环模拟过程中, 马氏体和贝氏体相变温度区内奥氏体分解。膨胀测量曲线的分析 (图 3) 表明, 钢 E 和钢 JI 只是分别在 $370 \sim 180^\circ\text{C}$ 和 $380 \sim 220^\circ\text{C}$ 发生马氏体相变, 而在钢 P-110 和 C-75 中, 贝氏体相变发生于马氏体相变之前, 其贝氏体相变开始和终了温度分别提高到 $480 \sim 250^\circ\text{C}$ 和 $550 \sim 300^\circ\text{C}$ 。根据膨胀测量曲线确定的奥氏体分解产物的数量比的特征是: 钢 P-110 中含 50% 马氏体与 50% 贝氏体, 而钢 C-75 中含 10~15% 马氏体和 85~90% 贝氏体。

采用 Шевенар 差示膨胀仪和测磁仪, 对试样的研究可以揭示出回火时发生相变的温度区。在重复加热的膨胀测量曲线上 (图 4, a) 看到了上述相变特征的部分, 马氏体在 $20 \sim 200^\circ\text{C}$ 分解, 残余奥氏体在 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 分解, 碳化物在 $400 \sim 450^\circ\text{C}$ 析出并在 560°C 聚集, 在测磁曲线上记录了模拟相变的范围。依据曲线的特性点选定了快速电加热试样的回火温度 (300 和 450°C), 初步模拟了焊接热循环。 300°C 时残余奥氏体完全分解, 碳化物开始转变, 450°C 时碳化物转变结束, 碳化物颗粒开始聚集。回火后在 Шевенар 膨胀仪和测磁仪上对试样重复加热。曲线分析 (图 4, b、c) 表明, 300°C 回火后, 部分残余奥氏体分解并出现碳化物析出。加热至 450°C 后, 在膨胀仪曲线上相应于残余奥氏体分解及碳化物析出的区域消失, 说明在该温度下这些过程已经完成。在测磁仪曲线上同样显示出残余奥氏体在该温度下完全分解。

这样一来, 在模拟焊接热循环时于钢 E 和 JI 中看到了马氏体的生成, 或者在钢 C-75 和 P-110 中看到了贝氏体和马氏体组织。钢 E、JI 和 P-110 三种钢的硬度分别高达 HV517, HV509 和 HV377, 可以认为有形成冷裂纹的趋势。但钢 C-75 的硬度偏低, 仅为 HV260。

在 300°C 回火时, 所有试验钢几乎都完成了残余奥氏体分解, 但碳化物生成过程没有本质的发展, 因此金属硬度降低不大。回火温度提高到 450°C , 碳化物急剧形成, 因此组织稳

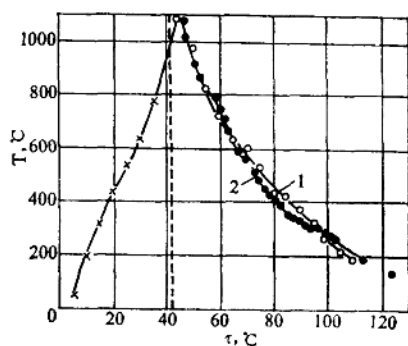


图2 对焊焊缝区的热循环
1为实测曲线; 2为模拟曲线

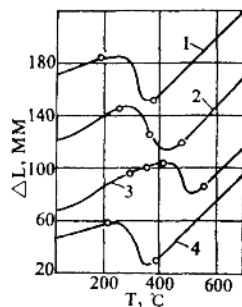


图3 模拟试样冷却的膨胀仪曲线
曲线编号1~4含义同图1