



油井射孔器枪体用35CrMo高强度钢管的开发和应用

黄大鑫

(首钢特殊钢公司)

首钢特殊钢公司研制的油井射孔器枪体用35CrMo高强度钢管的综合机械性能及尺寸精度等已达到美国吉尔哈特公司同类产品的性能。经现场试验和各油田实际使用证明,国产的35CrMo高强度钢管完全能满足油井全方向射孔的使用要求。

DEVELOPMENTS AND APPLICATIONS TO 35CrMo HIGH STRENGTH STEEL PIPES FOR PERFORATOR GUNS IN OIL WELLS

Huang Daxin

(Special Steel Division, Shoudu I & S Co.)

Mechanic properties and dimension precisions of 35CrMo high strength steel pipes for perforator guns in oil wells developed by Special Steel Division, Shoudu I & S Co. have reached those of the same products manufactured in U.S.A. Field tests and practical operations in many oil fields prove that 35CrMo high strength steel pipes made domestically can fully meet the requirements for omnidirectional perforating in oil wells.

1. 前言

目前,国内油井射孔器枪体用管主要靠进口。80年代初,我公司开始研制射孔器枪体用35CrMo高强度钢管。本文拟对该产品的研制和应用情况作一扼要介绍。

2. 油井射孔器枪体管的要求

2.1 油井射孔作业环境

油井射孔,即是把射枪伸入到油井下相当于油层深度的部位引发射孔弹穿透油井套管和井壁,射入油层深部,使石油沿射通的通道从油层流入油井。

射孔器枪体管除要承受49~98MPa的井液压力外,还须承受强大的射孔弹的爆破

冲击力。

因此对射孔器枪体管有着严格的要求。

1)一口油井从钻头钻入油层起直至出油,油层要经受三次损害过程:钻井液的浸入;固井滤液的浸入;射孔残余物和井内液体的浸入。前两个成井过程将造成井眼损害带,射孔深度能否穿透损害带将直接影响油井的产油率。因此,为增加油井射孔深度,必须提高射孔弹的爆破能力,但射孔弹爆破力越大,射孔器枪体被炸破的可能性就越大,甚至会使枪体膨胀过大而卡在井内造成油井报废,所以要求制造射孔器枪体的钢管必须有较好的综合机械性能。

2)为提高产油率,射孔时采用四方向射孔(四方向射孔的产油量可比单方向射孔

提高10~15%),但四方向射孔对射孔器枪体的破坏力比单方向射孔大得多。

3)射孔器枪体要吸收掉射孔弹爆炸后所产生的沿射孔方向以外的爆破冲击能量以保护油井套管,而枪身又不被炸碎或膨胀过大。

2.2 射孔器枪体用管的性能及尺寸要求

射孔器枪体用管要适应油井作业环境,满足全方向的射孔要求,就必须具备如表1所列的性能要求。

射孔器枪体用管的性能要求 表1

性能	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	HRC	a_K (J/cm ²)
要求值	≥980	≥835	≥12	≥40	≤35	≥50

射孔器枪体内安装有射孔弹、射孔弹支撑架和导爆索等部件,枪体要保证能在油井中顺利地通过,因此对制造枪体的无缝钢管的尺寸要求相当严格,见表2。

射孔器枪体用管的尺寸要求 表2

枪体用管规格 (mm)	外径 (mm)	内径 (mm)	壁厚 (mm)	弯曲度 (mm/m)
φ51×6.5 无缝钢管	各部尺寸	51	38	6.5
	允许偏差	±0.51	+0.60	+0.78 -0.65
φ51×5.5 无缝钢管	各部尺寸	51	40	5.5
	允许偏差	±0.51	+0.60	+0.66 -0.55

3. 射孔器枪体用无缝钢管的生产

经对国外射孔器枪体样品和国内现有钢种的比较分析,我们认为国产35CrMo合金结构钢经过特定的成分控制和特定的工艺加工、热处理完全可以满足油井射孔器枪体用管的各项性能要求。

3.1 化学成分控制

35CrMo钢由于碳、铬、钼等元素的综合作用,具有良好的淬透性、回火稳定性及很低的回火脆性倾向,因此35CrMo钢在热处理后可得到优良的综合机械性能。但是,在该钢中磷和硫所生成的夹杂物将明显地影响

钢的耐冲击性能。例如,硫化物夹杂可使钢的延展性和韧性特别是冲击韧性降低(见图1)。而磷的含量对钢的回火脆性影响很大,即使很少的含磷量也能提高钢对回火脆性的敏感度(见图2)。

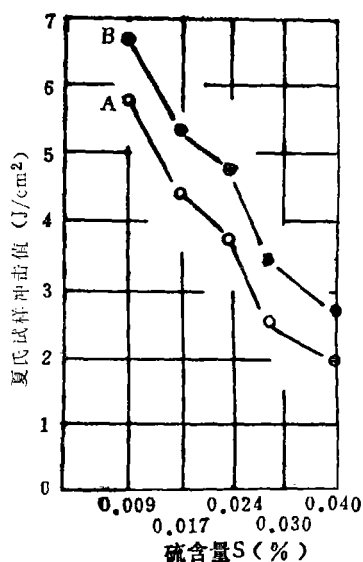


图1 钢中硫含量与夏氏试样冲击值的关系
(40CrMo, 锻造比4, 850℃淬火, 600℃回火)
A—中心部 B—表面部

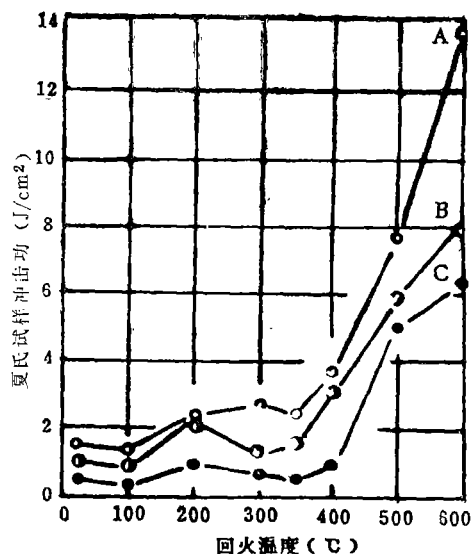


图2 不同含磷量试样在各回火温度下的冲击功
A—0.009% P 0.30% C 1.45% Mn
B—0.021% P 0.30% C 1.16% Mn
C—0.035% P 0.30% C 1.44% Mn

因此, 尽管GB3077-82合金结构钢的技术条件规定优质钢中磷和硫的含量应不大于0.035%, 高级优质钢的磷和硫的含量不得大于0.030%, 但我们确定射孔器枪体用35CrMo 钢管的磷和硫的含量均必须不大于0.025%。

3.2 管坯质量要求

为保证石油射孔器枪体用钢管的表面质量和内壁质量, 所用管坯的酸浸低倍组织级别必须达到GB3077-82标准的高级优质钢级要求。

3.3 制管工艺要求

采用有内模的冷拔方法制管, 以专用的成套模具保证钢管内、外径及管壁的尺寸精度。

3.4 成品管中频感应调质热处理

钢管的成品热处理关系着钢管能否具备所要求的机械性能。若采用钢管生产工艺中通常所用的回火、退火、正火或正火+回火等热处理方法是难以使35CrMo 钢管达到其使用性能的。

GB3077-82标准规定: 35CrMo 合金结构钢经850℃油淬火, 550℃回火, 并在水或油中冷却后必须达到表3所列的性能指标。

35CrMo 钢规定的性能指标 表3

性能	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	a_K (J/cm ²)
要求值	≥980	≥830	≥12	≥45	≥80

对于直径51mm、长度5~8m的钢管, 按照常规方法, 没有大型专用热处理设备(如井式炉或辊底式连续淬火、回火炉)是难以实现上述热处理工艺的。经比较多种热处理方法, 我们决定采用中频感应加热方法对35CrMo 钢管进行调质处理。生产实践证明, 经中频感应加热调质处理的35CrMo 钢管性能均匀, 机械性能达到进口管试样标准, 有的甚至超过进口管的试样标准。

3.4.1 中频感应调质设备

钢管中频感应调质设备由中频电源、变压器、感应器、淬火液系统、控制系统、测温系统、钢管输送系统、进料台架和收集槽等组成, 占地约100m²。该调质设备示于图3。

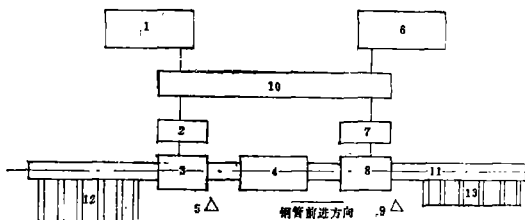


图3 中频感应调质设备示意图

1—淬火中频电源 2—淬火变压器 3—淬火感应器
4—淬火器 5—淬火测温 6—回火中频电源 7—回火变压器 8—回火感应器 9—回火测温 10—控制系统 11—钢管输送系统 12—钢管台架 13—钢管收集槽

感应加热热处理的钢管依次通过淬火加热感应器、淬火器和回火加热感应器, 一次完成调质的全过程。在每个感应器的出口, 设置了测温装置以监视钢管加热后的温度。钢管前进速度、各加热感应器的功率、淬火液的压力和流量等参数都由操作台控制。

3.4.2 中频调质处理的工艺稳定性

工艺稳定性是指在热处理过程中, 工艺参数是否稳定, 热处理各阶段的温度能否控制在很窄的范围内, 处理后的产品机械性能是否均匀、一致。

经多年生产实践证明, 钢管中频热处理设备的温度波动范围可控制在±15℃以内, 由于钢管是单支、逐支的处理, 因此更能保证钢管各部位处理的一致性, 这是其他热处理方法难以实现的。

为检验中频调质热处理的工艺稳定性, 我们进行了如下试验: 任意各抽取一支(长5m)经中频调质处理和燃油辊底式连续炉正火后, 沿钢管的长度方向每隔一米切取试样, 测量每支试样横截面沿圆周方向12个点的硬度和两侧强度及屈服点, 测得的值列于

表4、表5。中频调质与燃油辊底式连续炉正火处理的钢管试样性能差值对比列于表6。

中频调质试样各段性能值 表4

取样部位		第一米	第二米	第三米	第四米	第五米	全长
性能值							
σ_b (MPa)	min	1040	1120	1080	1070	1020	1020
	max	1080	1120	1120	1100	1120	1120
σ_s (MPa)	min	970	1060	1010	1000	960	960
	max	1010	1060	1050	1020	1040	1060
HRC	min	33	33	33	33	34	33
	max	35	34	34	34	34	35

燃油连续炉正火试样各段性能值 表5

取样部位		第一米	第二米	第三米	第四米	第五米	全长
性能值							
σ_b (MPa)	min	755	765	835	795	790	755
	max	805	770	850	840	885	885
σ_s (MPa)	min	580	560	675	610	615	560
	max	610	610	695	700	735	735
HRC	min	25	21	21	20	17	19
	max	29	26	25	25	23	29

3.4.3 中频调质的35CrMo钢管质量

中频感应热处理具有加热速度快、温度控制准确稳定、温度调整灵活、淬火液调整灵活、氧化烧损少、脱碳少、易于实现机械化自动化、效率高、节省能源和无污染等诸多优点。

表7列出了经中频调质处理的35CrMo钢管与用普通方法调质的35CrMo钢管及美国、西德进口的射孔器枪体样品的性能。

钢管性能对比表

表7

机械性能 对比钢管	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	HRC	a_K (J/cm ²)	备 注
中频调质35CrMo钢管	980~1225	930~1175	15~18	45~55	33~35	100~155	历年生产的产品统计数据 试验样品数据 试验样品数据 试验样品数据
常规调质35CrMo钢管	930~980	785~835	11~12	45~50			
美国射孔器枪体管	1125~1165	1080~1110		49~57	35~37		
西德射孔器枪体管	1020	950	16				

注：表中数据均以管壁条状试样做出

中频调质与燃油炉正火试样性能 表6

性能值	热处理方式	取 样 部 位					
		第一米	第二米	第三米	第四米	第五米	全长
σ_b (MPa)	中频调质	40	0	40	30	100	100
	燃油炉正火	50	5	15	45	95	130
σ_s (MPa)	中频调质	40	0	40	20	80	100
	燃油炉正火	30	50	20	90	120	175
HRC	中频调质	2	1	1	1	0	2
	燃油炉正火	4	2	4	5	4	10

4. 35CrMo 钢射孔器枪体现场试验及使用情况

4.1 现场试验

于1981年和1984年对用35CrMo高强度钢管制造的油井射孔器枪体进行了两次试验鉴定。

4.1.1 第一次试验

(1) 地面爆破试验

试验条件：外加压每米安装10粒6g高能炸药弹（间距100mm）。

试验结果：35CrMo枪体钢管爆破后无裂纹，枪身膨胀1.8mm；尔后以2m长的35CrMo钢管连续发射40发射孔弹，仍未破裂。35CrMo枪体与进口的美国枪体爆破后纵裂情况见图4。

(2) 清水井下3000m爆破试验

试验条件与地面试验相同，地面1m枪体装弹4发；3m枪体装弹33发。

试验结果：爆破后枪体无破裂，膨胀2.6mm，见表8。



图4 35CrMo管与进口美国管的爆破情况
a—35CrMo管(完整) b—美国进口管(纵裂)

3000m深井爆破试验结果 表8

标准或材料	爆破后枪体膨胀量(mm)
API标准	≤3.0
进口的美国枪体	2.5~3.0
国产35CrMo枪体	1.4~1.6

4.1.2 第二次试验

本次试验是为国产84-29型油井射孔器作技术鉴定。该射孔器为国内首创的深井全方向射孔器。

试验条件: 35CrMo高强度钢管, $\phi 51 \times 5.5$ mm。在钢管外表面按左旋方向钻一深度3.5mm、直径15mm的盲孔, 每一米长度内钻10个孔, 进行地面破甲、耐压试验和井下现场应用试验。

试验结果: 射孔后仅在射孔孔眼双侧胀大3.5mm, 其余部位无异常现象, 枪体强度高, 耐压性能达15.68MPa, 超过进口的射孔枪的耐压指标(13.78MPa)。

4.1.3 试验结论

35CrMo高强度钢管制造的油井射孔器枪体完全能够满足全方位油井射孔的要求, 建议推广应用。

4.2 使用情况

35CrMo高强度钢管所制射孔器枪体在大港、华北、中原等油田使用已长达10余年, 结果表明, 该钢管性能符合要求。在日、中合资的渤海湾海上油田, 35CrMo枪体射孔器射孔一次成功。渤海海上油田已全部采用该钢管制作射孔器枪体。在石油部召开的过油管射孔技术专业会上对35CrMo高强度钢管作了进一步的肯定, 确定今后各油田所用射孔枪枪体材料全部由首钢特殊钢公司定点供应。

5. 35CrMo高强度钢管生产量

该钢管的各年生产量列于表9。

35CrMo高强度钢管生产量 表9

年 份	1983	1984	1985	1986	1987	1988
产 量(t)	61	169	534	519	280	455

6. 结语

首钢特殊钢公司生产的35CrMo高强度钢管氧化、脱碳轻微, 综合机械性能、尺寸精度已达到美国吉尔哈特公司生产的同类产品标准, 完全满足了全方向射孔使用要求。