

桥梁用钢拉杆性能研究

石伟 彭春阳 邹全

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:随着大直径钢拉杆在桥梁的应用越来越广泛,对了解40Cr材料应用于钢拉杆的机械性能,确保桥梁的运营安全是十分有必要的,并为后期拉杆的设计提供技术参考。本文研究了从同一根大直径棒材中取样试验,分别进行了无热处理、正火热处理、调质热处理及正火+调质热处理等状态的取样试验对比,同时还从调质后的不同硬度及是否采用锻造工艺,分别进行了机械性能对比,对40Cr材料性能有了进一步的了解,最后通过金相组织比较得出冲击性能不合格的原因,对深入了解40Cr材料性能提供了帮助。

关键词:大直径钢拉杆 机械性能 热处理 应用

1 概述

当吊索的结构需要满足较大调节量或者吊索的长度较短无法满足制造要求时,通常设计会采用钢拉杆结构。随着大吨位吊索的设计应用越来越多,钢拉杆的设计尺寸也越来越大。钢拉杆应用于桥梁的吊杆,是桥梁的安全的重要组成部分,因此必须对钢拉杆的力学性能及抗疲劳性能有较清楚的认识,以便在设计时做出合理、优化的钢结构设计。

钢拉杆通常采用的材料为40Cr,该材料属于一种低淬透性合金钢。正火(常化)将钢加热到Ac₃(40Cr材料Ac₃温度为800℃)以上的适当温度(30℃~50℃),保持适当时间(以工件热透所需要的时间)后在空气中均匀冷却,得到珠光体类组织的热处理工艺。正火可以使钢的组织均匀,提高钢的强度、硬度和韧性。合金调质钢在调质前正火处理,可以得到均匀、细密组织。调质处理是将钢加热到Ac₃以上的适当温度(50℃~70℃),保持适当时间后在水中快速冷却,得到马氏体组织(即淬火),然后在400℃~720℃进行高温回火的热处理工艺。正火可以使钢的组织均匀,提高钢的强度、硬度和韧性。淬火是钢强化的最重要方法,可得到细晶粒、高强度和高硬度的马氏体组织,提高钢的力学性能。合金调质钢在调质前正火处理,可以得到均匀、细密组织,使调质后的力学性能更好。对此结合欧维姆公司现有的热处理设备及工艺,对大尺寸拉杆采用正火、调质、正火+调质三种不同的热处理工艺,并通过钢拉杆不同取样部

位做机械性能实验,得出一套符合大尺寸钢拉杆的热处理工艺,以满足钢拉杆的机械受力性能的需要,同时也为后期的钢拉杆设计提供依据。

2 实验方法及步骤

2.1 原料取样及实验方法

为保证每组实验具有可比性,要求采购的原材料统一为大冶生产的材料,且每组实验的下料为同一根材料或同一批生产的材料。同时为保证实验的顺序进行及了解热处理后金相的变化,因此对原材料需进行取样分析(如图1),其具体的实验内容及步骤如下:下料尺寸为 $\phi 250 \times 160$,粗车外圆至 $\phi 244$,然后进行超探与磁探,超声波探伤按GB/T4162-2008表4质量等级B级,磁粉探伤检测质量等级按JB/T 4730.4-2005第9章的II级规定,在无损探伤合格的情况下方可进行取料,取料按图要求,加工成标准试件后分别进行拉伸试验、冲击试验及硬度检测,待检验合格后方可继续后面的三组实验。

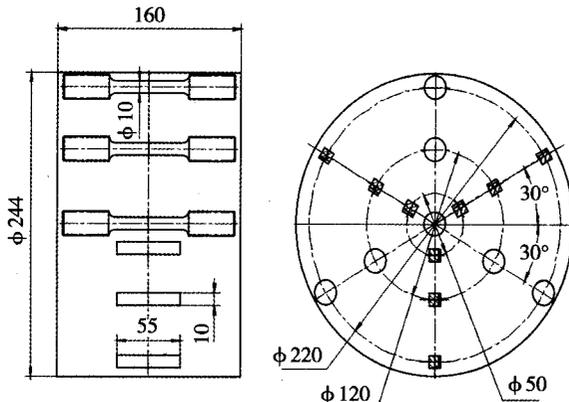


图1 原材料取样示意图

2.2 采用正火工艺的取样及实验方法

实验分别从三根 $\phi 250$ 长500的原材料中取样一根(如图2),粗车外圆至 $\phi 244$ 。然后进行超探与磁探,超声波探伤按GB/T4162-2008表4质量等级B级,磁粉探伤检测质量等级按JB/T 4730.4-2005第9章的Ⅱ级规定,如在探伤过程中存在有缺陷,但又满足探伤要求时,应标记2~3个最大缺陷点,记录缺陷长度,以便观察热处理对工件的影响。接着对工件进行热处理,热处理工艺为:加热温度 $860 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间240min(以工件热透为目的),然后空冷。热处理后的工件进行酸洗后,再进行超探与磁探,技术要求同上。如之前有标记对标记点需进行前后对比。最后对工件按图进行取样,加工成标准试件后分别进行拉伸试验、冲击试验及硬度的检测。

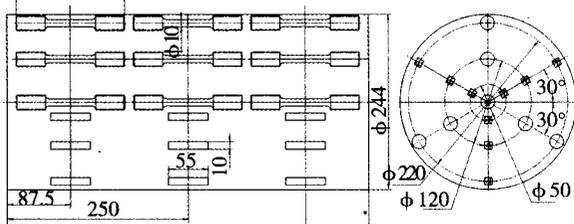


图2 实验工件取样示意图

2.3 采用调质工艺的取样及实验方法

实验分别从三根 $\phi 250$ 长500的原材料中取样一根(如图2),粗车外圆至 $\phi 244$ 。然后进行超探与磁探,超声波探伤按GB/T4162-2008表4质量等级B级,磁粉探伤检测质量等级按JB/T 4730.4-2005第9章的Ⅱ级规定,如在探伤过程中存在有缺陷,但又满足探伤要求时,应标记2~3个最大缺陷点,记录缺陷长度,以便观察热处理对工件的影响。接着对工件进行调质热处理,淬火热处理工艺为:加热温度 840°C ,保温时间180min(以工件热透为目的),空冷预冷时间60s~90s(主要视工件的温度而定),盐水淬火300s(主要防止产生淬火裂纹),接着继续空冷60s,最后盐水淬火150s(该时间主要以工作的温度控制为主)。回火热处理工艺为:加热温度 $500 \pm 40^\circ\text{C}$,时间240min,水冷。热处理后进行硬度检测,硬度为:28HRC~36HRC(269HB~329HB)为合格。检验合格后的工件进行酸洗后,再进行超探

与磁探,技术要求同上。如之前有标记做标记点,最后对工件按图进行取样,加工成标准试件后分别进行拉伸试验、冲击试验及硬度的检测。

2.4 采用正火+调质工艺的取样及实验方法

实验分别从三根 $\phi 250$ 长500的原材料中取样一根(如图2),粗车外圆至 $\phi 244$ 。然后进行超探与磁探,超声波探伤按GB/T4162-2008表4质量等级B级,磁粉探伤检测质量等级按JB/T 4730.4-2005第9章的Ⅱ级规定,如在探伤过程中存在有缺陷,但又满足探伤要求时,应标记2~3个最大缺陷点,记录缺陷长度,以便观察热处理对工件的影响。接着对工件进行正火+调质热处理。正火热处理工艺为:加热温度 $860 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间240min(以工件热透为目的),然后空冷至常温。淬火热处理工艺为:加热温度 840°C ,保温时间180min(以工件热透为目的),空冷预冷时间60s~90s(主要视工件的温度而定),盐水淬火300s(主要防止产生淬火裂纹),接着继续空冷60s,最后盐水淬火150s(该时间主要以工作的温度控制为主)。回火热处理工艺为:加热温度 $500 \pm 40^\circ\text{C}$,时间240min,水冷。热处理后进行硬度检测,硬度为:28HRC~36HRC(269HB~329HB)为合格。检验合格后的工件进行酸洗后,再进行超探与磁探,技术要求同上。如之前有标记对标记点需进行前后对比。最后对工件按图进行取样,加工成标准试件后分别进行拉伸试验、冲击试验及硬度的检测。

2.5 其它实验方法

为充分了解40Cr材料在大直径钢拉杆上应用的机械性能,在实验过程中还对调质硬度做了微小的变化,以及增加了锻造工艺后其材料的机械性能的实验。

根据试验的实际情况,共分为四批进行。分别为:第一批原材料取样试验。第二批为工件的外表面调质后硬度为29HRC~31HRC。第三批为工件的外表面调质后硬度为31HRC~33HRC的取样试验。第四批为经锻造后工件的外表面调质后硬度为31HRC~33HRC的取样试验。

3 试验结果对比分析

3.1 试样硬度分析对比

主要针对经调质处理后的工件，从中取样的各试样的硬度如图3~图5。

由图3~图5可以看出，随着工件的外面的硬度的提高，工件的芯部的硬度也随着提高了，而经过锻造的工件其硬度更高些，且硬度分布也较均匀些。

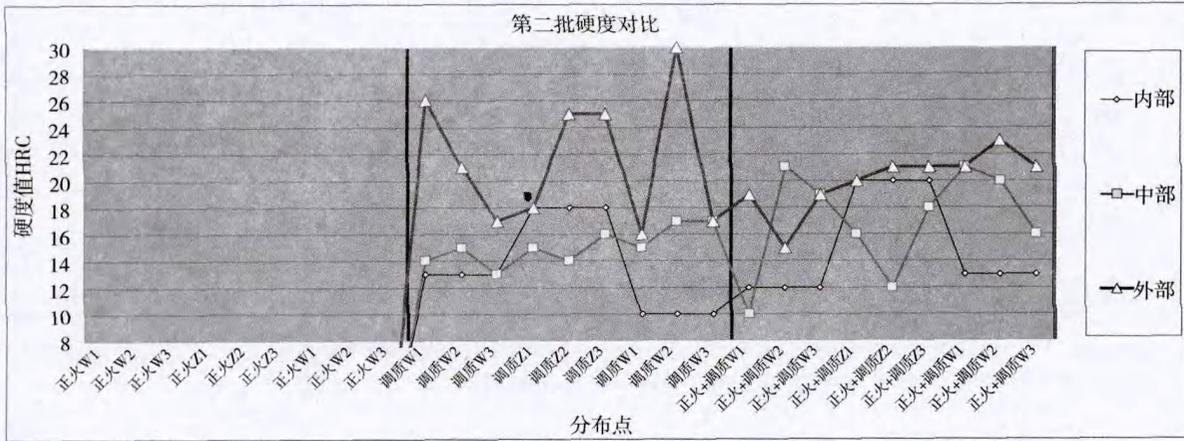


图3 第二批试样硬度

说明：图中的内部曲线是指工件截面（圆形截面）的芯部位置的取样，中部曲线是指工件截面的芯部与外层之间的取样，外部曲线是工件截面的最外层的取样。每件工件在轴线上分为三层取样，每层的取样标记为W1~W3、Z1~Z3、W1~W3，数字分别表示每层中取3个样。以下图表均按此来表示曲线点所在的位置。

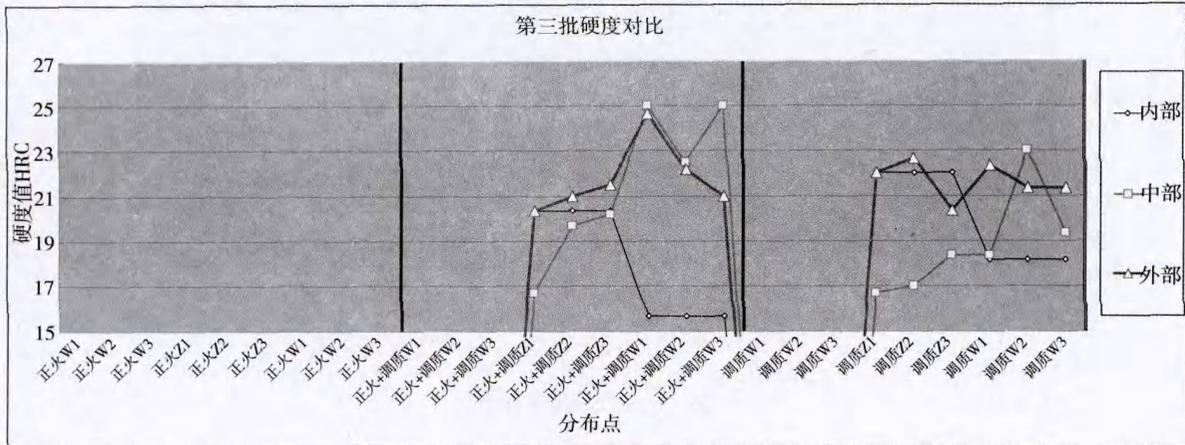


图4 第三批试样硬度

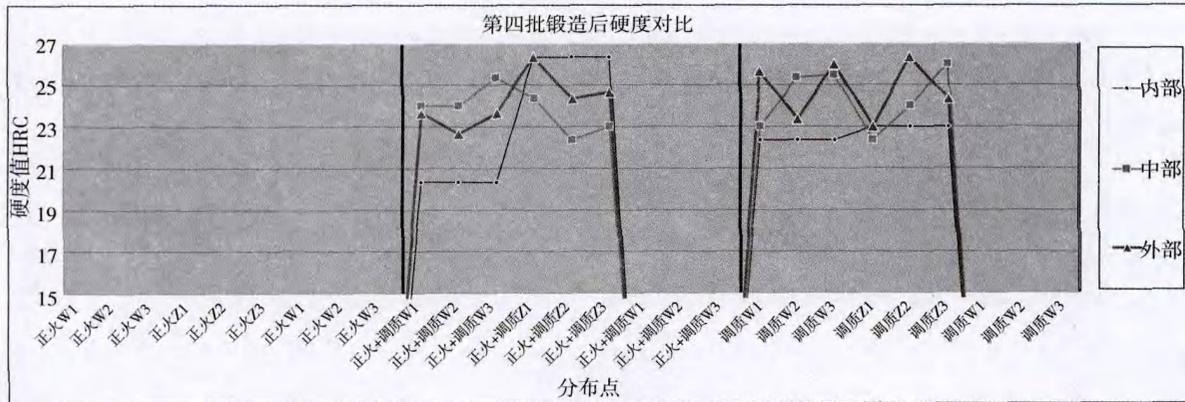


图5 第四批试样硬度

说明：图4和图5的试样硬度测量只抽检了工件的一侧端部及中部的试样。

3.2 试样强度分析对比

表1 第一批原材料机械性能

编号	σ_s MPa	σ_b MPa	δ %	Ψ %	AK
YL1	340	685	20	37.5	9
YL2					7.5
YL3					5.5
YZ1	330	695	21	45	11
YZ2	340	700	20	46.5	12.5
YZ3	335	685	22	44	18
YW1	315	630	22	39	31.5
YW2	340	680	20	37.5	29.5
YW3	345	695	20.5	40.5	35.5

编号说明：Y表示为原材料，L表示为工件圆截面的芯部位置，Z表示为工件圆截面的芯部与外层之间的位置，W表示为工件圆截面最外层的位置，数字表示为在工件圆截面上的各层取3件试样，分别标记为1~3。拉伸试样在YL层只取了一件试样。

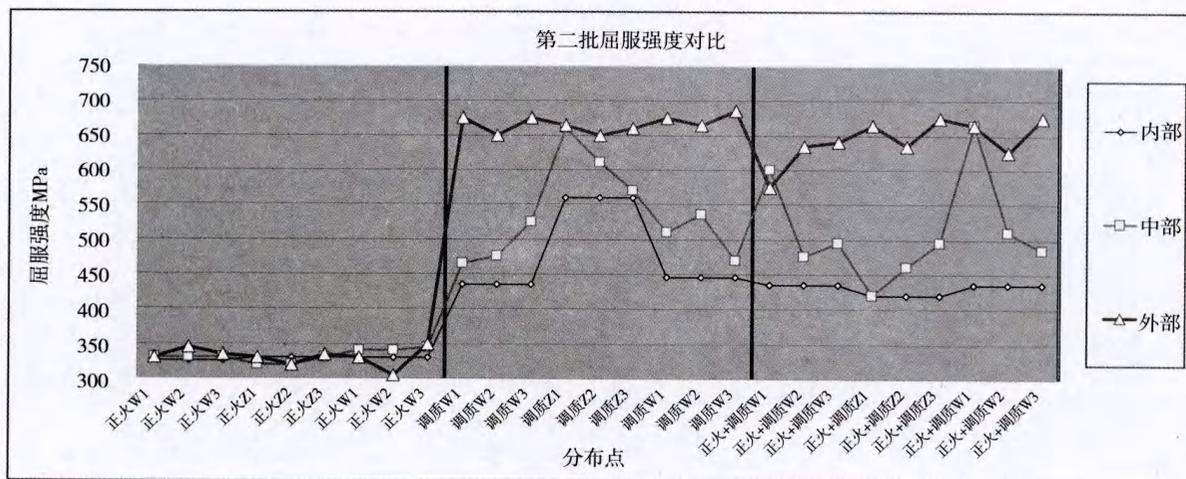


图6 第二批屈服强度对比

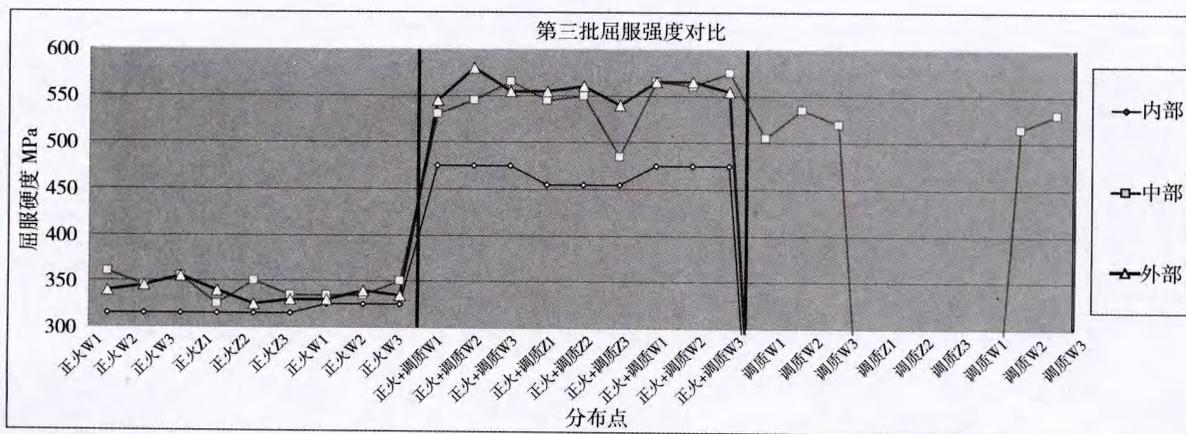


图7 第三批屈服强度对比

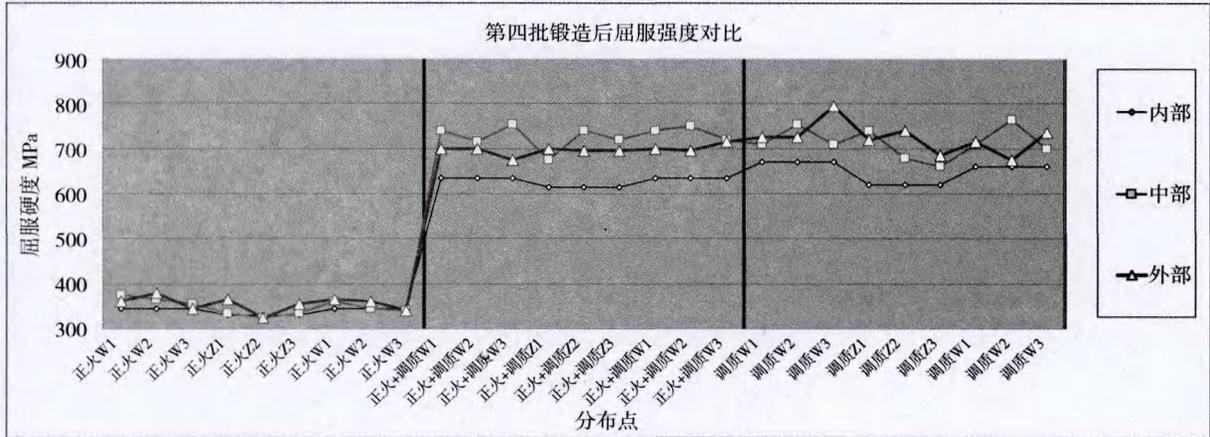


图8 第四批锻造后屈服强度对比

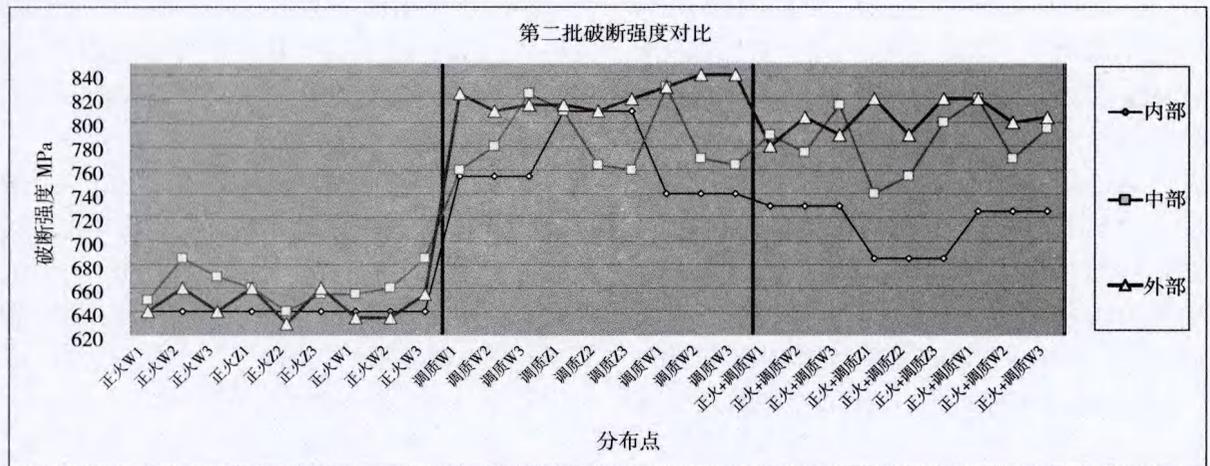


图9 第二批破断强度对比

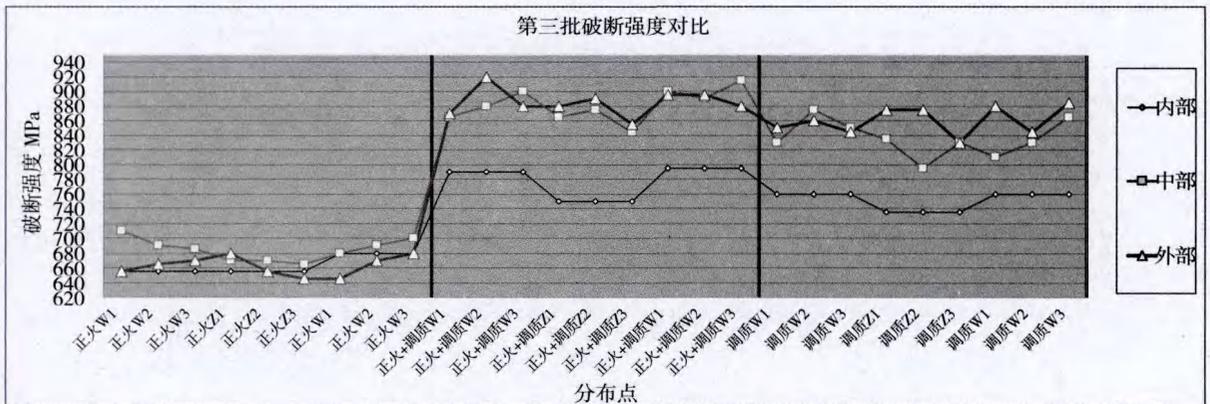


图10 第三批破断强度对比

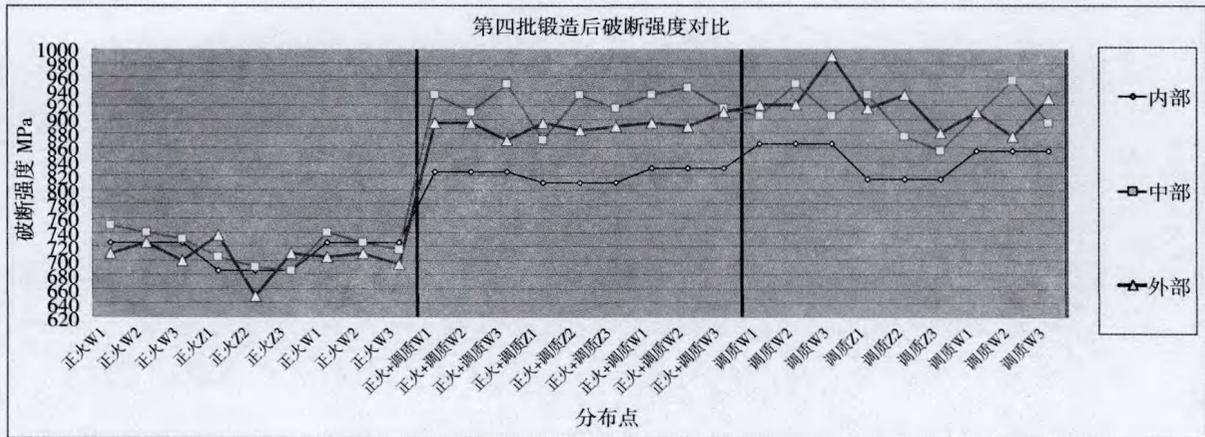


图11 第四批锻造后破断强度对比

通过对表1及图6~11数据分析可知:

(1) 原材料的屈服强度、破断强度与经正火后的屈服强度、破断强度差不多, 屈服强度为330MPa, 破断强度为640MPa~680MPa。但经过锻造后的工件经正火后强度都略有提高, 屈服强度为350MPa, 破断强度为680MPa~720MPa。

(2) 经过调质的工件其强度有了大幅度的提升, 其屈服强度为480MPa~667MPa, 破断强度为768MPa~823MPa (工件调质后外表硬度为29HRC~31HRC), 破断强度为778MPa~885MPa (工件调质后外表硬度为31HRC~33HRC), 而经过锻造后的工件其强度提升得更多, 其屈服强度为628MPa~728MPa, 破断强度为

845MPa~923MPa (工件调质后外表硬度为31HRC~33HRC), 且从内部至外部的强度较为均匀。随着硬度的提高其屈服强度略有下降而破坏强度有上升, 但由于屈服强度是计算出来的, 在此仅供参考。

(3) 在调质后的工件硬度为29HRC~31HRC时, 只调质处理的工件的破断强度优于正火+调质的工件, 而将工件硬度调质为31HRC~33HRC时, 正火+调质的工件的破断强度及屈服强度都要优于仅调质处理的工件。

(4) 正火+调质的工件由于多了一道正火工序, 造成工件表面碳的烧损, 其强度有点下降, 但影响不大。

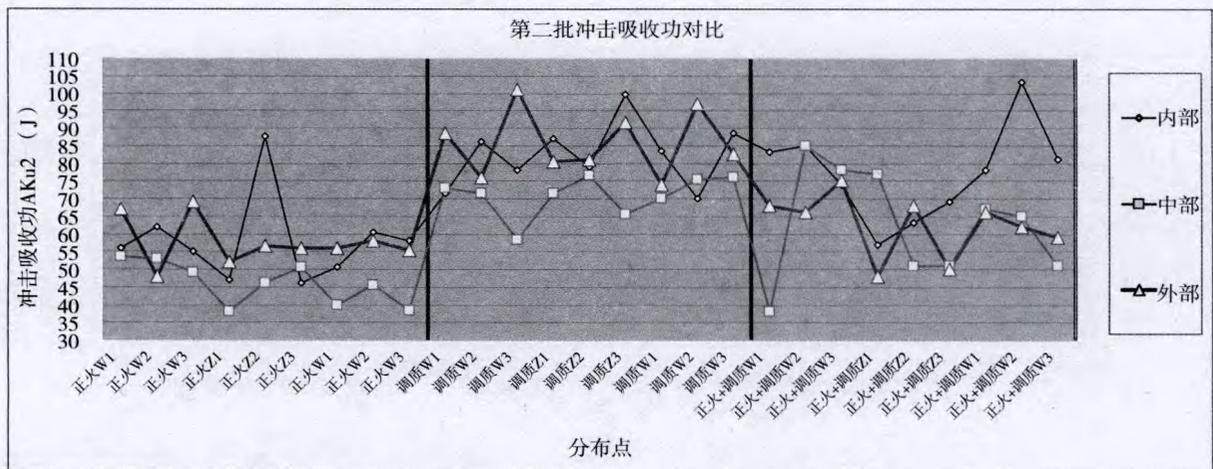


图12 第二批冲击吸收功对比

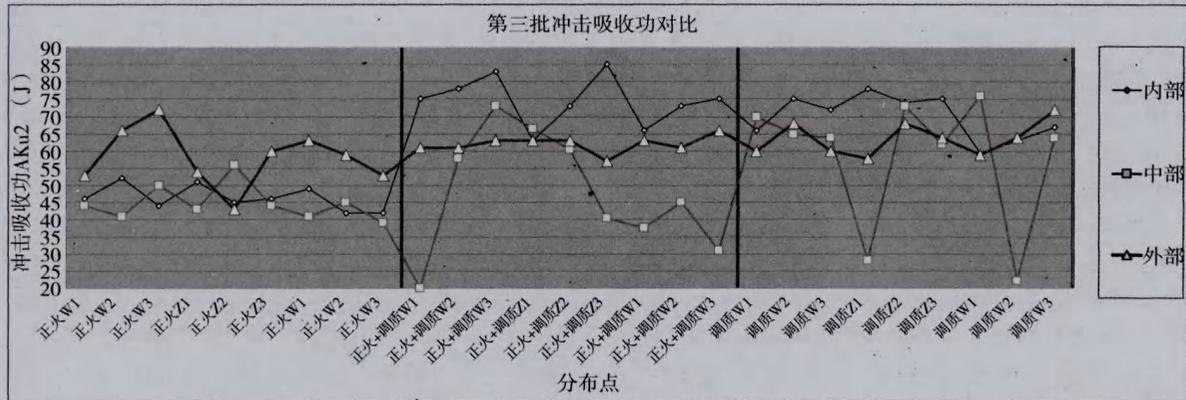


图13 第三批冲击吸收功对比

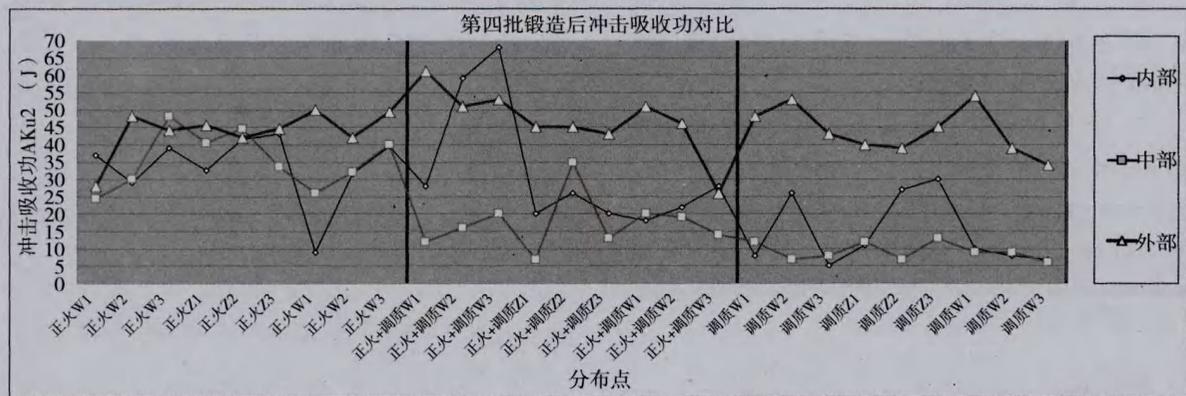


图14 第四批锻造后冲击吸收功对比

3.3 试样冲击吸收功分析对比

通过对表1及图12~14数据分析可知:

(1) 原材料的冲击吸收功 $\leq 40\text{J}$, 因此不合格。

(2) 对于正火的工件, 非锻造件的冲击吸收功基本满足 $\geq 40\text{J}$, 而对于锻造件其冲击吸收功有一半是不能满足 $\geq 40\text{J}$ 的要求。

(3) 对于非锻造件, 其调质后的冲击吸收功明显优于正火的工件, 而锻造件除工件最外层取样满足 $\geq 40\text{J}$, 其余部位不满足要求。

(4) 对于锻造件其正火+调质后的冲击吸收功要优于调质后的冲击吸收功。而对于非锻造件其调质硬度在31HRC~33HRC, 两者热处理的冲击吸收功相差不大, 当调质硬度在29HRC~31HRC, 其调质的冲击吸收功要优于正火+调质后的冲击吸收功。

3.4 金相组织比较

主要针对锻造工件后出现冲击吸收功不合格

进行分析。锻造与未锻造正火状态金相组织对比见表2。

通过对比, 可知锻造后工件其晶粒度的均匀性好, 铁索体含量略少于珠光体, 其拉伸强度、硬度都比未锻造的工件要高一些, 但也由于带状组织的存在及铁索体的含量少, 使其冲击吸收功较小, 进而影响了调质后的冲击吸收功。由于铁索体的含量相比未锻造要少, 这跟工件的锻造工艺有关, 需做进一步的研究。

4 结论

通过对大直径工件的采用不同的热处理方式, 并取样进行机械性能实验, 得出如下结论:

(1) 通过正火的工件比没有正火的原材料的机械性能要好些, 主要体现在冲击吸收功有大幅度的提高。

(2) 通过调质处理的工件比正火的工件的综合机械性能要好, 表现在屈服强度、破断强度及冲击吸收功都有提高。

表2 锻造与未锻造正火状态金相组织对比

样品编号	样品材料	处理状态	硫化物	晶粒度	带状组织	金相组织	备注
12W(未锻造)	40Cr	正火	1级	8级, 局部6级	0级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
12Z(未锻造)	40Cr	正火	1.5级	8级, 局部6级	0级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
12L(未锻造)	40Cr	正火	2级	8级, 局部6级	0.5级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
42W(锻造)	40Cr	正火	1.5级	8级, 均匀性好	0.5级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体
42Z(锻造)	40Cr	正火	1.5级	7级, 均匀性好	1.5级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体
42L(锻造)	40Cr	正火	1级	7级, 均匀性好	1级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体

样品编号说明: 此批试样选用第三批及第四批的工件, 均为同批原材料。编号第一位数字表示正火, 第二位数字表示取样位置为在500长工件的中部。L表示为工件圆截面的芯部位置, Z表示为工件圆截面的芯部与外层之间的位置, W表示为工件圆截面最外层的位置。

3、对于非锻造工件, 在调质硬度为29HRC~33HRC, 选用调质热处理方式即可。

4、工件锻造后, 其强度及硬度都有所提升, 但冲击吸收功不合格。选用正火+调质热处理方式其综合机械性能更好。

5、通过对锻造与未锻造正火状态金相组织进行对比, 发现锻造的工件由于带状组织的存在及铁素体的含量少, 而造成其冲击吸收功较小。仍需对锻造工艺及热处理工艺进一步的研究, 以

保证工件在锻造后满足机械性的要求。

通过实验对40Cr材料大直径拉杆的热处理方式有了更为合理的选择, 使拉杆的综合机械性能更好, 为今后的拉杆设计提供了参考。

参考文献

- [1] 傅璞. 40Cr热处理工艺及其组织与性能[J]. 机械工程与自动化, 2005(5):110-114
- [2] 孙维连, 杨钰瑛. 35CrMo钢拉杆显微组织与性能[J]. 金属热处理, 2005(11):79-81

(上接第6页)



图16 边坡除险加固概况



图17 YJM15让压分散型锚索的施工

6 小结

本文通过对普通压力分散型锚索的结构特点

进行分析, 指出其索体钢绞线不等长所带来的的一系列问题。作者研究应用了新型让压锚具技术并对锚索结构形式进行了大胆改进, 提出了让压分散型锚索的结构特征, 经过工程应用验证了该新型锚索的结构合理, 张拉锚固简便, 使用性能良好, 希望本文研究成果能在岩土工程中进一步推广应用。

参考文献

- [1] 程良奎, 范景伦等. 《岩土锚固》北京. 中国建筑工业出版社, 2003
- [2] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 《岩土锚固技术的新进展》北京. 人民交通出版社, 2000
- [3] 田裕甲. 压力分散型锚索与拉力型锚索的比较. 岩土锚固工程. 2002.3期
- [4] 刘宁, 高大水等. 《岩土预应力锚固技术应用及研究》湖北科学技术出版社, 2002
- [5] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 《岩土锚固技术手册》北京. 人民交通出版社, 2004
- [6] 刘玉堂, 袁培中, 白彦光. 压力分散型锚索不宜作为永久性锚索. 岩土锚固工程. 2008.2期
- [7] 郑静, 朱本珍. 荷载分散型锚索差异补偿荷载的广义确定. 铁道工程学报. 2008(1).
- [8] 何炳银, 张士环, 尹建国. 高地压巷道锚索让压支护技术的探讨. 煤炭工程. 2005(9)
- [9] 董涛, 谢友友, 祝华林. 让压与锚注法在软岩巷道中的研究与应用. 采矿与安全工程学报. 2008, 25(1).