

试验研究

# 锚杆杆尾螺纹低应力脆断原因分析

李雪峰

(山钢股份莱芜分公司 技术中心, 山东 莱芜 271104)

**摘要:**通过成品化学成分、力学性能分析、金相组织检验、断口形貌对比分析,并结合杆尾螺纹加工工艺,分析MG600钢筋在滚丝加工螺纹后低应力脆性断裂原因:力学性能偏高,珠光体球团直径较大,使钢筋冷塑性加工性能较差,且杆尾螺纹加工粗糙,在杆尾螺纹处易产生加工硬化和局部应力集中,出现低应力脆断现象。

**关键词:**MG600钢筋;锚杆;杆尾脆断;低应力

中图分类号:TC115

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2017)02-0048-03

## 1 前言

随着煤炭资源的不断开采,矿井埋深不断增加,国家对煤矿安全也越来越重视,对煤巷的锚杆支护技术和支护效果提出了安全、节能、环保的要求,高强度、高刚度、高可靠性的锚杆支护体系成为主要发展方向<sup>[1]</sup>。为适应锚杆支护技术的发展,山钢股份莱芜分公司棒材厂开发出新型MG600钢筋,在其锚杆杆尾螺纹加工后,在螺纹处偶尔出现低应力脆断的现象,脆断的原因与杆体加工、材料等因素有关<sup>[2]</sup>。为此,从MG600钢筋化学成分及力学性能、金相检验、扫描电镜断口形貌、杆尾螺纹加工方式等方面,分析MG600钢筋杆尾螺纹发生低应力脆断的原因。

## 2 化学成分和力学性能分析

取样热轧态合格MG600钢筋试样做化学成分和力学性能分析,见表1。

表1 MG600钢筋化学成分和力学性能

化学成分/%						R <sub>m</sub> / R <sub>eL</sub> / A/ 20 °C冲击			
C	Si	Mn	S	P	V	MPa	MPa	%	功 A <sub>k</sub> /J
0.26	0.56	1.57	0.011	0.024	0.107	705	875	19	35

由表1可知,MG600钢筋的强度性能偏高,富余量较大。对钢铁产品来说,强度水平的提高受到塑性需求的制约,塑性指标下降,使钢筋的冷塑性变形能力变差,即锚杆杆尾滚丝螺纹加工难度增大。同时塑性降低还导致缺口敏感性增加,冲击韧性随拉伸强度提高而降低。

从化学成分分析,C是决定钢材性能的主要元素,当钢中C含量在0.8%以下时,随着C含量的增加,钢材的强度和硬度提高,而塑性和韧性降低。

收稿日期:2016-09-23

作者简介:李雪峰,男,1982年生,2006年毕业于东北大学材料与冶金学院材料科学与工程专业。现为山钢股份莱芜分公司技术中心工程师,从事棒材新产品、新工艺的研究开发工作。

因此,鉴于MG600钢筋拉伸强度偏高,可适当减低钢中C含量,以改善钢筋冷塑性加工性能。

## 3 金相检验

取样热轧态合格,螺纹加工后低应力脆断试样,做金相及螺纹加工质量检验。

### 3.1 夹杂物分析

取样MG600钢筋试样,纵向抛开,加工后制成金相试样,经研磨、抛光后,在Neophot32大型光学显微镜下分析钢筋夹杂物含量,结果见表2。

表2 MG600钢筋非金属夹杂物含量

A类	B类	C类	D类
0.5	0	0.5	0

MG600钢筋在冶炼工序采用弱吹氩,并延长钢包吹氩时间,再经过LF精炼,提高钢水的洁净度,减少大型夹杂物含量,降低非金属夹杂物对钢筋各项性能指标的不利影响。由表2可知,MG600钢筋洁净度较高,夹杂物含量较低,且没有大颗粒夹杂物的存在,对钢筋冷塑性加工性能影响不大。

### 3.2 金相组织分析

#### 3.2.1 热轧态基体组织

为真实的反应断口处基体的金相组织,在锚杆杆尾靠近螺纹断口附近取样,加工后制成金相试样,经研磨、抛光后,用4%硝酸酒精溶液腐蚀,对腐蚀后的钢筋断面进行金相组织观察,如图1所示。

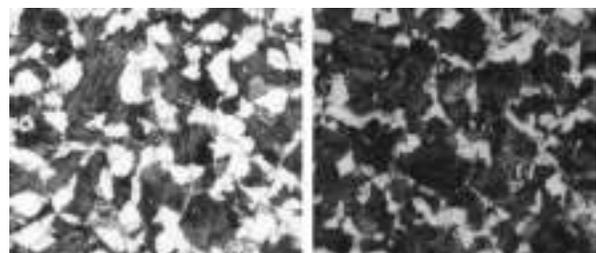


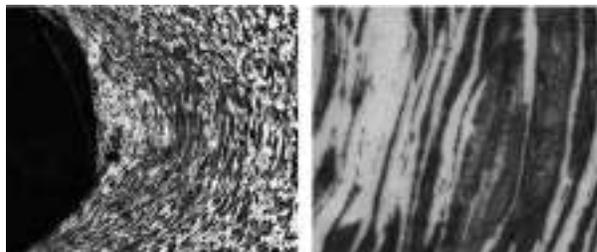
图1 锚杆杆体热轧态金相组织 500×

由图1可知,MG600钢筋边部和心部的显微组

织均为铁素体+珠光体,铁素体呈半网状析出,珠光体片间距较大,球团直径较粗。珠光体球团直径越大,单位体积内片层排列方向减少,使局部发生大量塑性变形而引起应力集中的可能性增大,降低了钢的塑性变形能力;珠光体片间距较大的区域,抗塑性变形能力较小,在外力作用下,往往在这些区域产生过量变形,出现应力集中,使钢的强度与塑性都降低,影响钢材的冷塑性加工性能。

### 3.2.2 螺纹尾部组织

目前我国锚杆钢筋杆尾螺纹螺坯成型的手段主要为滚圆成型方法,然后对螺坯采用滚丝工艺进行加工螺纹<sup>[3]</sup>。对按此工艺加工的锚杆杆尾螺纹段取样,纵向抛开,加工后制成金相试样,经研磨、抛光、腐蚀后,观察金相组织,如图2所示。



杆尾螺纹牙底金相组织 100× 纤维组织局部放大 500×

图2 锚杆杆尾螺纹牙底金相组织

由图2可知,锚杆杆尾表面经过滚圆成型、滚丝加工,发生了冷塑性变形,铁素体和珠光体晶粒沿变形方向被拉长,螺坯表面和螺纹牙底组织呈纤维组织形态,力学性能呈现各向异性,纤维组织深度约0.3 mm。同时在冷塑性变形过程中,锚杆各部分的变形不均匀或晶粒内各部分和各晶粒间的变形不均匀,会在滚丝处螺纹牙底形成应力集中,应力集中不能通过塑性变形来松弛,成为杆体的薄弱环节。

另外,在锚杆滚圆成型时,会将横肋直接压入杆尾,形成裂纹,造成杆尾强度不均匀,对锚杆杆尾螺纹精度强度有一定影响,如图3所示。

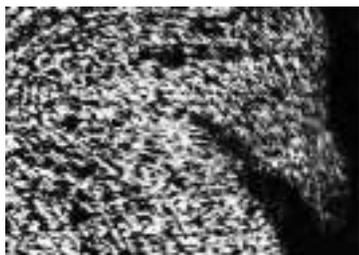
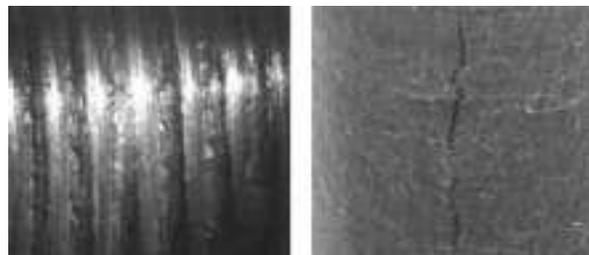


图3 锚杆杆尾螺纹横肋压入组织形貌 100×

### 3.2.3 螺纹缺陷

随着锚杆强度的增加,硬度不断增加而塑性逐渐下降,从而使杆尾螺纹加工难度增大,锚杆杆尾螺纹加工粗糙,存在明显的缺陷和损伤,如齿面剥离、牙底折叠、牙底裂纹与腐蚀等<sup>[4]</sup>,见图4。这些缺陷均会造成锚杆杆尾螺纹段在外力作用下裂纹延

伸扩展,更重要的是容易在损伤处造成应力集中,在锚杆杆尾螺纹发生破断时往往达不到钢筋的屈服载荷,锚杆杆体部分不能产生延伸,降低了锚杆的整体延伸率,而出现锚杆低应力脆断现象。



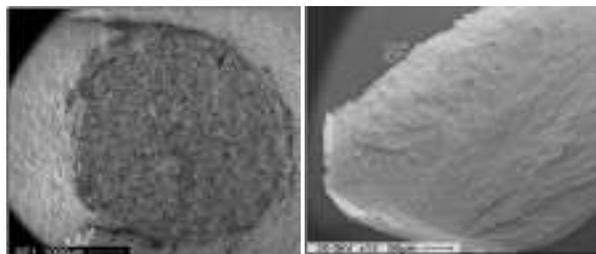
a 杆尾螺纹缺陷与损伤 b 螺纹牙底裂纹 60×

图4 杆尾螺纹缺陷与损伤

## 4 拉伸断口形貌对比分析

### 4.1 断口宏观形貌

取样 MG600 钢筋杆体、杆尾螺纹拉伸断口,进行断口宏观及微观形貌对比分析,锚杆杆体、杆尾螺纹拉伸断口宏观形貌如图5所示。



a 锚杆杆体 b 锚杆杆尾螺纹

图5 MG600钢筋拉伸断口宏观形貌

对比断口宏观形貌可知,锚杆杆体断口为杯状断口形貌,从心部开裂,断口中心区域纤维状特征明显,且面积较大,近表面光滑区为剪切唇,没有明显的放射状区,断口处有明显的缩颈现象,为韧性断口的宏观形貌,如图5a所示。锚杆杆尾螺纹断口较平坦且与轴向基本成垂直角度,局部有撕裂台阶,断口灰白且有零星亮点。断口从锚杆杆尾螺纹外圆的一侧开始,裂纹以裂源为中心,呈弧形向外发展,再以放射线状扩展,最终断裂部分为撕裂形貌,断口较平坦,说明属快速断裂,断裂时应力较高。放射区在整个断口中所占的比例很大,断口附近几乎看不到塑性变形,从宏观形貌上可以判定此断裂为脆性断裂,如图5b所示。

### 4.2 断口扫描电镜形貌

拉伸断口扫描电镜形貌如图6所示。锚杆杆体断口(图6a、b)中心纤维区在正应力作用下塑性变形,以微孔聚集并长大的机理发生断裂,断口微观上形成等轴韧窝花样,韧窝底部夹杂物含量较少;断口剪切唇微观形貌特征为拉长呈方向性的剪切韧窝花样,该区域为断口最后快速断裂区,塑性变

形明显,韧窝在剪切应力的作用下沿剪切应力方向被拉长。

锚杆杆尾螺纹断口扫描电镜微观形貌见图6c、d。断口裂纹源区域为等轴状韧窝+准解理的混合

断口形貌,韧窝大而浅。其他区域为以典型的组织准解理形貌为主,并含有撕裂岭和较多二次裂纹的混合断口,河流花样由晶粒内部向四周扩展,可判断断裂机制为准解理断裂,断口呈现出较强的脆性。

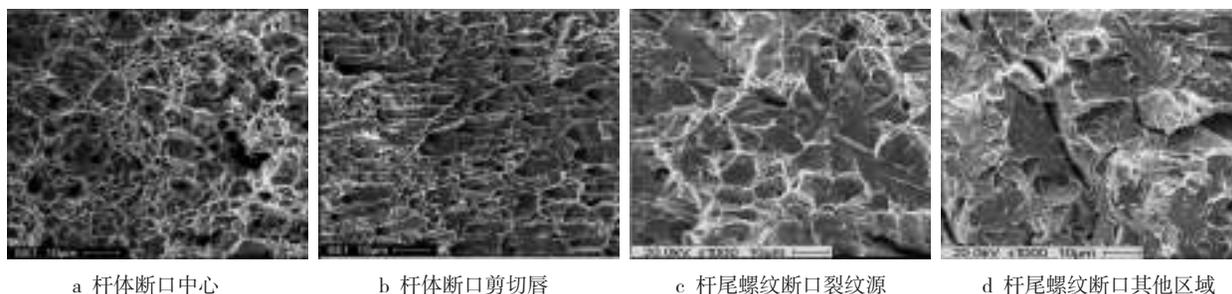


图6 锚杆杆体拉伸断口SEM形貌

由断口形貌分析可知,锚杆杆尾经过滚圆成型、滚丝加工螺纹后,脆性较杆体明显增加,究其原因主要为杆尾经过冷塑性加工后,产生了加工硬化和应力集中,使其强度、硬度升高,塑性、韧性下降。

## 5 结论

5.1 MG600钢筋C元素含量较高,强度性能富余量大,制约了钢筋塑性指标,致使钢筋的冷塑性变形能力变差,锚杆杆尾螺纹加工难度增大。

5.2 MG600钢筋金相组织中珠光体体积百分含量偏高,珠光体片间距较大,球团直径较粗,单位体积内片层排列方向减少,使局部发生大量塑性变形而引起应力集中的可能性增大,降低了钢的塑性变形能力。

5.3 断口形貌对比分析表明,锚杆杆体断口为韧

窝,以微孔聚集并长大的机理发生韧性断裂;锚杆杆尾螺纹断口为准解理断裂为主,并含有撕裂岭和较多二次裂纹的脆性断口形貌。

5.4 锚杆杆尾经过冷塑性加工螺纹后,靠近表面处晶粒变形严重,产生加工硬化和应力集中,且锚杆杆尾螺纹存在缺陷与损伤,促进了裂纹形成,降低了锚杆的整体延伸率。

### 参考文献:

- [1] 康红普,王金华,鞠文君,等.煤巷锚杆支护理论与成套技术[M].北京:煤炭工业出版社,2007.
- [2] 刘勇,吴红广.高强矿用锚杆钢筋的质量改进[J].河南冶金,2016,24(2):35-38.
- [3] 程蓬,康红普,鞠文君.锚杆杆尾螺纹力学性能的实验研究[J].煤炭学报,2013,38(11):1929-1933.
- [4] 程蓬,鞠文君.高强度锚杆尾部螺纹断裂受力分析[J].煤矿开采,2011,16(2):20-22.

## Analysis of Causes for Low Stress Brittle Fracture of Bolt End Thread

LI Xuefeng

(The Technology Center of Laiwu Branch of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

**Abstract:** Combined with the bolt end thread processing technology, through the analysis for chemical composition and mechanical properties of the product, metallographic examination and fracture morphology comparison, analysis of causes was made for low stress brittle fracture of high strength bolt MG600 after screw thread processing. The results show that the higher mechanical properties and larger pearlite pellet diameter cause the poor cold plastic processing performance of the bolt. Due to the rough processing to the bolt end thread, it is easy to produce work hardening and local stress concentration on the bolt end thread, so the low stress brittle fracture phenomenon is easy appear.

**Key words:** MG600 steel bar; bolt; thread fracture; low stress

信息园地

### 山钢日照钢铁精品基地4 300 mm宽厚板工程开建

2017年2月25日10时18分,山钢日照钢铁精品基地4 300 mm宽厚板工程开工仪式在日照施工现场举行,标志着宽厚板工程进入现场施工阶段。

宽厚板工程产品定位“高、精、尖”,突出“宽、特、厚”,重点发展高强度海工钢、核电用钢、低温Ni系钢、高级别桥梁钢、高端锅炉容器钢板、高强度结构钢、大口径管线钢、原油及天然气储罐用钢、高层建筑用钢等品种,依托复合制坯技术优势,可生产厚度100~300 mm各类特厚

钢板,应用于海洋平台、核电站、模具制造、水利等行业。

2017年,日照钢铁精品基地一期一步工程将按期投产,二期工程也在紧锣密鼓实施中。4 300 mm宽厚板工程作为二期关键工程,由山钢集团统一部署,事关产能转移、结构调整、铁钢轧平衡的重任,公司上下高度重视工程建设,全力追赶一期一步步伐,力争12月31日顺利轧制第一块宽厚板。

(摘自2017年3月1日《中国冶金报》)