

文章编号:1000-582X(2002)09-0071-04

煤巷锚杆用钢在低应变速率下的力学性能*

江利, 张绪平

(中国矿业大学机电与材料工程学院, 徐州 221008)

摘要:研究了低应变速率对煤巷锚杆用 Q235 钢、热轧和淬火回火 20MnSi 钢力学性能的影响。与常规拉力试验相比(应变速率为 $2.5 \times 10^{-4} \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$), 当应变速率为 $4.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 时, Q235 钢屈服强度降低 14%; 热轧和淬火高温回火的 20MnSi 钢屈服强度分别降低 4% 和 1%。分析了低应变速率对锚杆强度的影响。研究结果对于在岩石蠕变条件下工作的煤巷锚杆的设计、选材和使用具有重要意义。

关键词:锚杆; 低碳钢; 低合金钢; 低应变速率; 强度

中图分类号: TG113.12

文献标识码: A

煤层巷道的锚杆支护已成为我国煤炭开采中巷道支护技术的重要发展方向。1998 年我国煤巷锚杆支护比重已达到 20.14%^[1], 英国在 1997 年达到 90%^[2]。我国煤巷锚杆的用钢大体上有 3 类^[1,3]: 普通 Q235 钢; 低合金建筑螺纹钢, 如 20MnSi 等; 淬火高温回火的低合金螺纹钢, 国外如澳大利亚、英国、美国的锚杆用钢也大体如此^[3-5]。巷道围岩的变形与时间有密切关系, 随着时间的推移, 岩石将发生蠕变和松弛现象, 即岩石的流变。据统计^[6] 各类巷道围岩的变形速度(以顶底板或两煤壁之间的移近速度表示)如表 1 所示, 其中煤巷在服役期间最大变形速度约在 30~40 mm/d, 若锚杆可变形长度按 0.1~1.0 m 计(全长锚固的锚杆), 则在塑性变形期间锚杆的最大应变速率约为 $4.6 \times 10^{-7} \sim 4.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。在常规(假静态)拉力试验中, GB228-87 规定了一个 $2.5 \times 10^{-4} \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的应变速率范围, 这比锚杆服役期间的最大应变速率高 2~4 个数量级。一般认为, 变形速度下降时, 钢的强度也随之降低。Winlock^[7] 研究了含碳 0.06、0.21、0.34、0.48 和 1.03% 正火普通碳钢在低应变速率下的拉伸性能, 发现应变速率由 $2.76 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 降至 $3.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 时, 低碳钢下屈服点下降约 10%; 抗拉强度下降约 3%。对锚杆这种在岩石蠕变条件下工作的构件而言, 研究其低应变速率下的力学性能具有实际意义。

本文对现有锚杆用 Q235 低碳钢、20MnSi 低合金钢和淬火高温回火的 20MnSi 钢在低应变速率下的力学性能进行了试验研究, 旨在为煤巷锚杆支护的设计、

选材和使用提供理论依据和实验数据。

表 1 各类巷道围岩的变形速度

巷道围岩变形类别	10 天内平均变形速度 / (mm·d ⁻¹)	围岩显著变形期 / d	煤巷服役期间最大变形速度 / (mm·d ⁻¹)	围岩稳定后流变速度 / (mm·d ⁻¹)
稳定巷道	< 2	10	~ 4	0
较稳定巷道	3~6	30	~ 12	< 0.2~0.5
不稳定巷道	10~20	50	30~40	1

1 实验方法

试验用钢为煤巷锚杆用热轧 Q235 钢、20MnSi 钢和经 900 °C 淬火, 560 °C × 2 h 回火的 20MnSi 钢, 其化学成分列于表 2。拉伸试验采用 Φ10 mm 标准短试样, 试验是在 MTS 810 材料试验机上进行, 应变速率分别为: $4.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $4.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $4.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 每组试验有 5 个试样, 取其平均值, 均方差在 2.6~4.7 之间。试验环境温度为 18 °C, 温度波动范围 ± 4 °C。

表 2 试验用钢的成分(质量分数) %

	C	Si	Mn	S	P
Q235	0.15	0.20	0.35	0.022	0.033
20MnSi	0.19	0.67	1.42	0.027	0.038

2 试验结果与分析讨论

热轧 Q235 钢、20MnSi 钢和淬火回火的 20MnSi 钢不同应变速率时的拉伸试验结果见图 1。从图 1 中可

* 收稿日期: 2002-04-04

作者简介: 江利(1957-), 男, 江西萍乡人, 博士, 副教授。主要从事矿山工程材料方向研究。

以看出,随着应变速率降低,3种试验用钢的强度都有所降低,但降低幅度各不相同。当应变速率降至 $4.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 时,Q235钢下屈服点降低约32 MPa,降幅约14%,极限强度降低约25 MPa,降幅约6%,延伸率变化不大,这与资料^[7]的结论一致;20 MnSi钢屈服强度和极限强度分别降低约14 MPa和19 MPa,降幅分别为

3.8%和3.3%; 淬火高温回火20 MnSi钢强度下降约5~7 MPa,降幅约1%左右,延伸率均无明显变化。可见,低应变速率下,低碳钢屈服强度降低最为明显;低合金钢屈服强度降低幅度明显小于低碳钢;经淬火高温回火的低合金钢强度降低很小,以致于在工程应用中可以忽略。

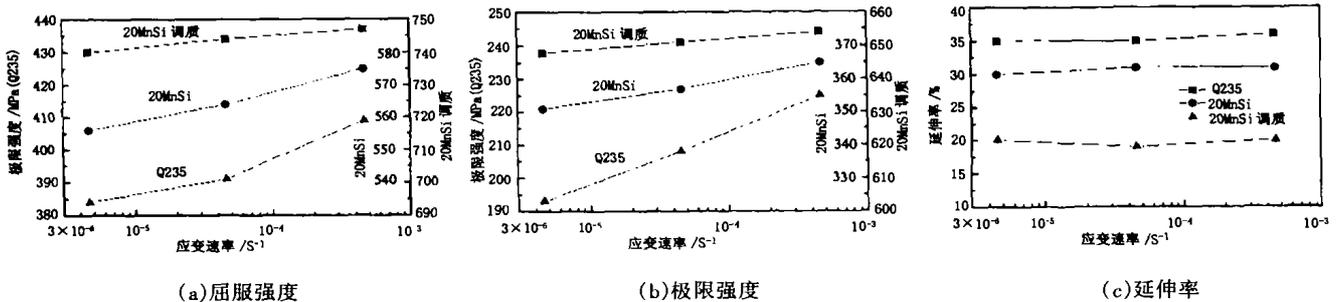


图1 热轧Q235钢、20MnSi钢和淬火回火的20MnSi钢不同应变速率下拉伸试验结果

根据位错动力学理论,切应变速率与平均位错运动速度和可动位错密度之间是成正比的^[8],而位错运动速度又决定于所受到的有效应力的大小^[9],因而在低的拉伸应变速率下的屈服和流变中(切应变速率转换成拉伸应变速率,应乘上一个取向因子^[10]),平均位错速度比较低,所以使位错运动的有效应力也就比较低。这些结论是在讨论单晶体屈服现象中得出的,多晶体与单晶体不同之处在于多晶体的晶界参与了阻碍位错的运动^[10],即由已经屈服的晶粒发出的位错在促使相邻晶粒屈服之前被晶界阻挡;在另一方面,一般都将金属的起始范性变形和流变在理论上看成是属于同一类问题^[11],因为流变应力可以看成是经预先变形金属的临界切应力,而临界切应力也可以看成是未经预先变形金属的流变应力。所以,对于实际多晶体金属,低碳钢在低应变速率下强度明显降低,可能是由于位错运动速度的降低,导致了使位错运动的有效应力随之降低所致。

在位错理论的研究中,Seeger^[12]把流变应力分成与温度有关和与温度无关的两个分量,认为:金属的临界切应力或流变应力主要取决于两个因素,其一是位错运动的长程障碍,如位错塞积群、位错网络、亚晶界等,这类障碍的作用比较大,热激活几乎无能为力;其二是来自位错运动的短程障碍,如溶质原子和析出相对位错的作用力等,对这类障碍,位错有可能借助于热激活越过势垒。资料^[13]还指出,对于纯的体心立方金属,其屈服应力与温度有着很强的关系;但形成固溶体后,屈服应力与温度的关系减弱了。而在一定范围内,

对与原子扩散有关的位错运动的阻力而言,提高温度与降低变形速度的影响是相同的^[14]。对于实际多晶体金属,20MnSi钢中Mn和Si固溶于 α -Fe中,起着明显的固溶强化作用,因而位错运动障碍要多于低碳钢。Mn和Si溶于 α -Fe中,还对派-纳力产生影响,因为派-纳力的大小本质上取决于晶体结构和键的方向性^[13]。Mn和Si原子半径均略小于Fe,在由它们与C、N所组成的置换加间隙固溶体中,C、N原子和Mn、Si原子间的相互作用能为负值,即两者间相互吸引^[15],使C、N原子的溶解度增加。随着溶质原子(置换和间隙原子)浓度的增加,屈服应力与温度或变形速度的关系减弱,这是因为对20MnSi钢来说,位错运动所走过的单位面积中的障碍要多于低碳钢,也即需要借助于热激活所越过的障碍要多。另一方面,20MnSi钢中铁素体晶粒细化和珠光体片间距的减小,增加了晶界的界面积,因而增加了位错运动的阻力,这类障碍属于长程障碍,位错无法借助于热激活越过,故与温度或变形速度无关。这些都可能是20MnSi钢在低应变速率拉伸中,强度降低幅度比Q235钢要明显小的原因。

对于调质钢,Anand和Gurland^[16]认为:调质钢一般保留了淬火后遗留下来的位错亚结构,回火时经多边化的亚晶和弥散分布的碳化物交互作用的结果,会产生一平衡尺寸的亚晶,亚晶尺寸的大小取决于碳化物质点尺寸。淬火高温回火钢中渗碳体质点的作用不是直接的,它们起着稳定亚晶、控制亚晶尺寸的作用。亚晶界属于位错运动的长程障碍,温度和变形速度对其没有影响。因而可以认为,调质钢中位错运动的长

程障碍起着主要作用,温度和变形速度对屈服应力和流变应力的影响很小。所以,调质 20MnSi 钢在低应变速率拉伸时强度的变化很小,以至于在工程应用中可以忽略。

在实际应用中,煤巷锚杆支护的设计和使用均是以正常拉伸速度下测得的力学性能特别是屈服强度作为设计和使用的依据。但是,煤巷锚杆的塑性变形却是在很低的应变速率下发生的,它比正常拉伸时的应变速率要低 2~4 数量级以上,而钢特别是低碳钢在低应变速率下强度将明显降低。所以,作者认为:在煤巷锚杆支护的设计和选材中,应当考虑到材料在低应变速率下所表现出的这种强度降低。以目前普遍使用的 $\Phi 16$ mm 的 Q235 钢锚杆为例,正常设计时(应变速率 $2.5 \times 10^{-4} \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$),锚杆的屈服载荷应为 46~50 kN,而实际上却只有 37~40 kN(在最大应变速率 $5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 范围内),正常设计的极限载荷应为 74~80 kN,而实际只有 67~74 kN。锚杆承载能力,尤其是屈服承载能力的明显下降,这在工程应用中是应该予以考虑的。所以,煤巷锚杆用钢的选择应该是:以淬火高温回火的低合金钢为最佳;低合金高强度钢(HSLA 钢)次之;普通低碳钢强度降低最为明显,使用中应予以考虑。

3 结论

煤巷锚杆是在岩石蠕变条件下工作的构件,其塑性变形是在 $5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 及以下的低应变速率下发生的。在这个应变速率下,Q235 低碳钢锚杆的强度,特别是屈服强度将明显降低,在本试验范围内屈服强度降低约 14%,极限强度降低约 6%;20MnSi 钢锚杆的强度也将降低,但降幅明显小于低碳钢,本试验中强度下降约 4%左右;淬火高温回火的 20MnSi 钢的强度降低很小,在工程应用中可以忽略。

根据本次试验结果,煤巷锚杆用钢的选择应该是:以淬火高温回火的低合金钢为最佳;热轧态的低合金高强度钢(HSLA 钢)次之;普通低碳钢强度降低最为明显,在设计和使用中应予以考虑。

由于随应变速率的降低,位错运动的平均速度也随之降低,导致位错运动的有效应力降低,对于实际金属在宏观上表现为,Q235 钢的强度特别是屈服强度明

显降低;20MnSi 钢由于 Mn、Si 的固溶强化和铁素体与珠光体细化作用,使流变应力对温度和变形速度的依赖关系减小,故强度随应变速率的降幅明显小于 Q235 钢;20MnSi 钢淬火高温回火后,微观组织中保留了大量淬火后遗留下来的位错亚结构,位错运动的长程障碍起着主要作用,因而在一定范围内不受温度和变形速度的影响,以至于强度降低很小。

参考文献:

- [1] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰,等.煤巷锚杆支护[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999:3-4.
- [2] DAVID N BIGBY. Developments in British Rockbolting Technology[J]. Coal International, 1997, 245 (3): 111-116.
- [3] 侯朝炯,江利.高强度锚杆[J]. 矿山压力与顶板管理, 1997, (3-4): 176-179.
- [4] K HURT. New developments in rockbolting[J]. Colliery Guardian, 1994, 242 (4): 133-139.
- [5] 郑雨天,朱浮声.锚杆加固技术的新进展[J]. 东北煤炭技术, 1993, (4): 15-18.
- [6] 陈炎光,陆士良.中国煤矿巷道围岩控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994:45-54.
- [7] JOSEPH WINLOCK. The influence of the rate of deformation on the tensile properties of some plain carbon sheet steels[J]. J. Trans. AIME, 197, (1953): 797-803.
- [8] JOHNSTON W G, GILMAN J J. J. Appl Phys[J]. 1959. 30: 129-138.
- [9] 胡庚祥,钱苗根.金属学[M].上海:上海科学技术出版社, 1980.264.
- [10] 赖祖涵.金属的晶体缺陷与力学性质[M].北京:冶金工业出版社,1988.206.
- [11] 哈宽富.金属力学性质的微观理论[M].北京:科学出版社,1983.245.
- [12] SEEGER A, PHIL. Mag[J]. 1955, 46: 1 194-1 205.
- [13] 石德珂.位错与材料强度[M].西安:西安交通大学出版社,1988.88.
- [14] 《金属机械性能》编写组.金属机械性能[M].北京:机械工业出版社,1978.53.
- [15] R W 卡恩.物理金属学[M].北京钢铁学院金属物理教研室译,北京:科学出版社,1985,700.
- [16] ANAND L, GURLAND J. Met. Trans[J]. 1976, 7A: 91-103.

Tensile Properties of Coal – Roadways Bolting Steel at Low Strain Rate

JIANG Li, ZHANG Xu - ping

(Department of Material Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The effect of low strain rate on strength of Q235 mild steel, 20MnSi hot – rolled and quenched + high temperature tempered steel have been studied in this paper. The research results show that yield strength of Q235 mild steel is decreased by about 14% , and that of 20MnSi hot – rolled and quenched + high temperature tempered steel are respectively decreased by about 4% and 1% at about $4.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ of strain rate compared with common tensile test, i. e. $2.5 \times (10^{-4} \sim 10^{-3}) \text{ s}^{-1}$ of strain rate. The mechanisms of the effect of low strain rate on strength of these steels are discussed. The research results are of great importance to the design, choosing and application of rockbolt steels that are applied to the conditions of rock creep in coal mine roadways.

Key words: bolt; mild steel and HSLA steel; low strain rate; strength

(责任编辑 陈移峰)

(上接第 67 页)

Effect of Mechanical/Stretch on Growth and Morphology of Hepatocellular Carcinoma Cell

WANG Hong - bing, HUANG Qi - ping, QIN Jian, LU Xiao, WANG Yuan - liang, CAI Shao - xi

(College of bioengineering Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to research the effect of stretch on the cells, the four – point supporting bending system is applied to stretch the SMMC – 7721 hepatocellular carcinoma cells. Then, the proliferation of the cells was determined by FCM, and the morphology is measured by computer – image – processing, the result show that

(1) The percent of $G_2 - M$ phase of SMMC – 7721 is reduced after 24 h stretch (8.63% in 24 h stretched group and 15.92% in control). (2) The project area of SMMC – 7721 is reduced after 72 h stretch. (3) The proliferation of SMMC – 7721 is inhibited by stretch (the division index of SMMC – 7721 in 24 h stretched group is 0.46, in control group is 0.55).

Key words: SMMC – 7721; proliferation inhibition; stretch

(责任编辑 陈移峰)