

低碳钢圆轴扭转实验研究

梁志远 马明辉

摘 要 根据实验研究的结果对低碳钢圆轴的扭转屈服过程, 屈服扭矩的确定, 冷作硬化现象和时效处理影响提出了几点新的看法.

关键词 第一屈服扭矩, 第二屈服扭矩, 冷作硬化, 时效处理, 类似屈服
分类号 TB302.1

圆轴扭转实验是材料力学教学中基本实验之一, 它可以用来鉴定材料在纯剪切应力状态下的力学性能. 目前材料力学教科书中对扭转实验的论述都比较简单, 为了探讨塑性材料在扭转变形全过程中的力学性能特点, 我们进行了三组低碳钢圆轴的扭转实验. 实验中发现了一些有规律的现象是目前材料力学教科书及其它有关书籍中所没有提及和研究过的, 我们借本文把观察到的现象和由此得出的一些初步看法提供出来, 愿和有兴趣的同志共同探讨研究.

1 实验目的

1. 观察扭转试件的屈服全过程.
2. 研究扭转冷作硬化现象.
3. 观察时效处理对扭转冷作硬化的影响.

实验在 NJ-50B 型扭转试验机上进行. 试件材料为普通低碳钢. 试件形状尺寸按国家标准制作, 直径 $\varnothing 10$, 标距 100. 常温下实验.

2 实验方法

实验分三组进行. 第一组实验, 试件 5 根.

1. 慢速 ($3^\circ/\text{分钟}$) 加载, 记录比例极限扭矩 M_p , 第一屈服扭矩 M_{s1} (对应材料力学教程中所定义的屈服扭矩, 即扭转试验机扭矩指示刻度盘上指针几乎不动或摆动时所指示的最小值.) 第二屈服扭矩 M_{s2} (笔者提出, 后面论述.) 同时记录对应各扭矩值时试件转过扭转角 $\varnothing$.

2. 观察屈服全过程, 确定屈服阶段结束, 强化阶段开始一段后快速 ($30^\circ/\text{分钟}$) 加载. 当试件扭转角 $\varnothing$ 达到设定值 (五根试件 $\varnothing$ 的设定值分别为 90° 、 180° 、 270° 、 360° 、 720°), 记录对应的扭矩值. 然后慢速卸载至扭矩为 0, 记录试件残留扭转角.

3. 慢速二次加载. 记录二次加载时比例极限扭矩 MS'_p 和对应的试件 $\varnothing$ 值. 观察试件在二次加载时所表现出的冷作硬化现象. 当 $M_s - \varnothing$ 曲线平稳进行一段后快速加载到

试件断裂, 记录断裂时最大扭矩 M_b 和对应 Φ 值。

由第一组实验我们发现低碳钢圆轴扭转屈服阶段比拉伸屈服阶段长得多。试件从开始屈服到开始进入强化中间转过的 Φ 值大约为 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。当我们记录了第一屈服扭矩 M_1 后, 发现当试件 Φ 连续增大时扭矩并不持续上升, 扭矩指针在不动、摆动、略上升一小段又后退几者间波动。一般当试件 Φ 为 $35^\circ \sim 45^\circ$ 之间时, 扭矩指针会产生明显后退现象。我们把这次后退时指针指示的最小值在本文中暂时定义为第二屈服扭矩 M_2 , 其值的大小一般与第一屈服扭矩 M_1 基本相当。请参阅第一组试件实验数据表 1 和实测扭转曲线图 1 (本文所提供的扭转曲线图均按实测曲线缩小了 2.5 倍)。

表 1 第一组试件扭转实测数据

卸载 前 Φ		加 载			卸 载		二次加载		曲线号
		M_p	M_{s1}	M_{s2}	始	末	始	M_p'	M_b
90°	Mn	42.1	46.1	46.1	52.9	0	0	48.5	87.2
	Φ	8.0	11.1	37.0	90	83	83	90	850
180°	Mn	47.0	51.0	50.0	69.6	0	0	67.6	98.9
	Φ	6.8	10.0	45.0	180	171	171	180	1560
270°	Mn	41.7	49.0	49.2	71.1	0	0	69.6	98.0
	Φ	7.5	10.0	45.0	270	260	260	270	1440
360°	Mn	34.3	39.2	40.2	69.6	0	0	67.6	85.3
	Φ	7.0	10.0	45.0	360	350	350	360	990
720°	Mn	40.2	44.1	44.1	75.5	0	0	74.5	81.8
	Φ	8.0	11.0	38.0	720	711	711	720	1120

表中: Mn—各项扭矩通称, 单位: N·m;

Φ —试件扭转角, 单位: $^\circ$;

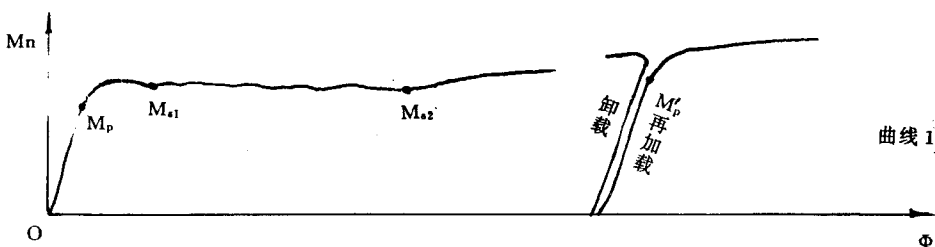
M_p —一次加载比例极限扭矩;

M_{s1} —第一屈服扭矩;

M_p' —二次加载比例极限扭矩;

M_{s2} —第二屈服扭矩;

M_b —断裂时最大扭矩。



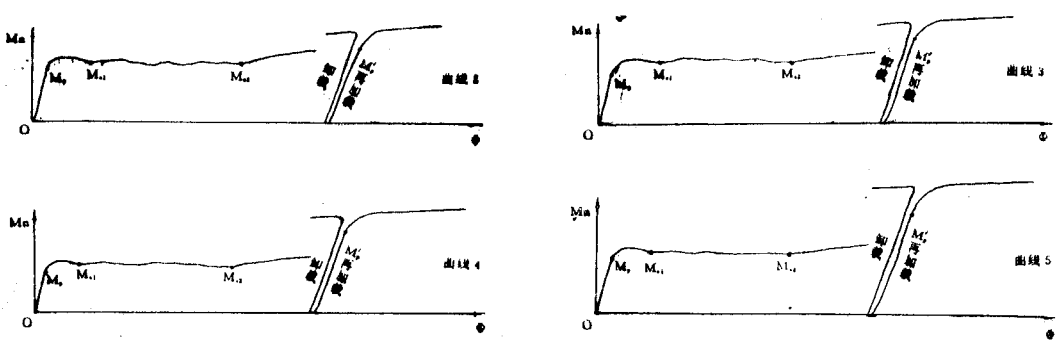


图 1 第一组试件扭转曲线

第二组实验, 试件 2 根

为了验证低碳钢圆轴扭转屈服阶段长这一论点, 我们进行了第二组实验. 实验方法是把试件慢速加载达到第一屈服扭矩后即慢速卸载, 也就是在笔者认为的屈服阶段以内进行卸载, 当扭矩卸至零后再二次慢速加载, 观察材料是否产生强化. 两根试件的实验数据和扭转曲线参见表 2 和图 2.

表 2 第二组试件屈服区域研究实测数据

加 载		卸 载		二 次 加 载				曲线号				
M _p	M _{s1}	始	末	屈 服	波 动	段	M _a -∅ 值	Mb				
Mn	42.14	47.5	47.5	0	46.6	49	47	46.6	46.1	46.6	81.8	1
∅	7.5	16	16.5	10	16.5	21	23	32	40	45	1120	
Mn	40.18	45.1	45.1	0	45.1	48	46.6	49	47	45.6	86.2	2
∅	6	8	9	3	10.5	12	16	19	22~38	45	1260	

附注: 表内各字母符号代表意义同表 1

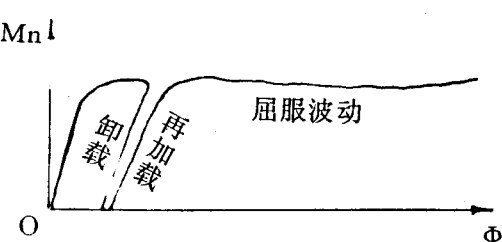


图 2-1 曲线 1

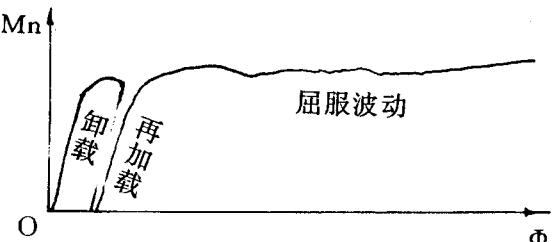


图 2-2 曲线 2

图 2 第二组试件扭转曲线



图 3-1 曲线 1

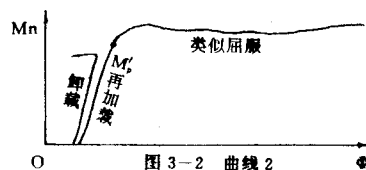


图 3-2 曲线 2

图 3 第三组试件扭转曲线

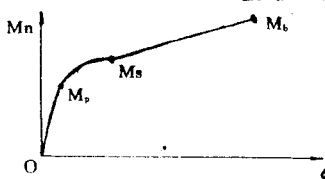


图 4 传统的 Mn-Φ

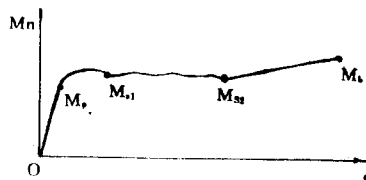


图 5 较确切的 Mn-Φ 曲线

由表 2 和图 2 可以清楚看到;如果试件在 M_{s1} 后马上卸载,二次加载时试件并没有进入强化阶段,而是又出现了一段明显的屈服波动区。对比第一组试件在 M_{s2} 后卸载,二次加载的扭转曲线图上均不存在这一区域。所以我们认为试件被加载到 M_{s1} 时,仅是试件开始进入屈服阶段,这一阶段一直延续到 M_{s2} 以后才开始进入强化阶段。低碳钢圆轴的扭转屈服阶段较其拉伸屈服阶段要长得多。

第三组实验,试件两根

这一组实验是用来观察时效处理对扭转冷作硬化的影响。实验方法是把试件慢速加载经过全部屈服阶段后,当试件扭转角达 180° 时慢速卸载,扭矩卸至 0 时开始进行时效。两根试件的时效时间分别为 24 小时和 65.8 小时。然后再次慢速加载,观察二次加载时试件的比例极限扭矩值相对卸载时扭矩值的提高情况。第三组实验的实验数据和实测曲线图参见表 3 和图 3。图 3 中删去了弹性阶段和屈服阶段。

表 3 时效影响实测数据

	加 载			卸 载		时效时间	二次加载		M_p' 提高	曲线号
	M_p	M_{s1}	M_{s2}	始	末		M_p'	M_b		
Mn	40.2	44.1	45.1	60.8	0	65.8 小时	64.7	82.3	10%	1
Φ	7	10	45	180	172		180	979		
Mn	46.1	49.0	50.0	64.7	0	24 小时	65.7	87.2	6.3%	2
Φ	9	15	40	180	171		180	1200		

附注:表内各字母符号代表意义同表 1。

3 实验结果讨论

根据实验现象,我们初步提出以下几个论点。

1. 低碳钢圆轴的扭转屈服阶段较长。目前发行的材料力学教程中一般认为扭转屈服阶段不明显,且大多把低碳钢圆轴的扭转曲线画成如图 4 所示。本次实验表明低碳钢扭转屈服阶段不仅明显而且较长,其扭转曲线应大致描述为图 5 所示。

2. 低碳钢圆轴扭转冷作硬化现象与拉伸时基本相似。由第一组实验表明,如载超过

M_{s2} 以后卸载可以提高低碳钢圆轴的比例极限扭矩。卸载前 ϕ 值越大,二次加载得到的比例极限扭矩越高。所以对低碳钢承扭构件进行冷作硬化处理,可以提高其承载能力。当然与拉伸相同,在比例极限扭矩提高的同时材料的塑性下降。需要指出的是,二次加载时的 M_p' 比卸载时的扭矩值要低一些。

3. 时效处理可以进一步提高试件的 M_p' 。由第三组实验看到,两根试件的 M_p' 值分别比不时效时提高了6.3%和10%(根据第一组实验数据,不时效时的 M_p' 值按表三中卸载扭矩值减去1.96N·m)。显然适当延长时效时间对 M_p' 的提高是有利的。

4. 时效后的试件在二次加载中会产生类似屈服现象。由图3的两根曲线上都可以看到:二次加载超过比例极限扭矩一段以后, $M_n-\phi$ 曲线上出现了一段扭矩波动区,波动区域经过的扭转角大约为 $20^\circ\sim 30^\circ$ 。我们称这种现象为类似屈服,其机理很值得探讨。

4 结 论

1. 低碳钢圆轴扭转屈服阶段较长,试件在开始进入强化阶段前的 ϕ 值大约为 $35^\circ\sim 50^\circ$ 。

2. 超过第二屈服扭矩 M_{s2} 后进行卸载可提高低碳钢圆轴的比例极限扭矩。试件的卸载线、二次加载线均与线弹性阶段加载线近似平行。

3. 一次卸载后进行时效,可以明显提高试件的比例极限扭矩。适当延长时效时间对比例极限扭矩的提高是有利的。

4. 时效后的低碳钢圆轴再次加载时会出现类似屈服现象。

5 结束语

以上仅是我们在实验研究的基础上对低碳钢圆轴的扭转特性提出的一些看法。对于这些实验现象的深入机理我们将做进一步的理论分析和实验研究,以期弄清塑性材料在纯剪切应力状态下塑性流动和二次强化的特性,为工程实际提供合理设计承扭构件的正确理论依据。

The Torsional Test to Low-carbon Steel Circular Axis

Liang Zhiyuan Ma Minghui

(Department of Civil Engineering)

ABSTRACT According to the test results, some new ideas on torsional yield process of low-carbon steel circular axis, definition of yield torque, phenomenon of cold working hardening and the influence with aging treatment are given.

KEY WORDS the first yield torque, the second yield torque, cold working hardening, aging treatment, similar yield