

快 报

双相钢中的 Bauschinger 效应和矫顽力

马 鸣 图 陈 笃 行

(冶金工业部钢铁研究总院)

1983 年 11 月 21 日收到

提 要

本文测定了铁素体-马氏体双相钢在拉伸和拉伸加压缩时的初始流变应力以及随后的矫顽力。结果发现,拉伸和拉伸加压缩后的矫顽力的变化同相应的初始流变应力的变化趋势一样,而后者称为 Bauschinger 效应。但矫顽力的相对变化大于后者。

一、引 言

具有加工硬化能力的合金的流变应力常和塑性应变历史有关。例如:正向变形(拉伸或压缩)后,再反向变形(压缩或拉伸)时,流变应力常小于初始正向的流变应力,而加工硬化速率在反向变形时常有短暂的增加。这种现象叫做 Bauschinger 效应^[1-3]。并且通常认为,这类材料的矫顽力随塑性应变的增加而升高。有关应变历史对双相钢矫顽力的影响,尚未见文献报道。本文报道铁素体-马氏体双相钢中的 Bauschinger 效应和矫顽力变化的实验结果。

二、材料和实验方法

实验用料由 100 kg 感应电炉熔炼。浇成 50 kg 重的锭材,经热锻后,热轧成 14×76×600 mm 板材,化学成分列于表 1。将轧板切成 14×14×70 mm 的方条后,于 930℃ 加热 1 h 空冷,再加工成直径 6 mm、标距长 12 mm、两端有 M12 mm 螺丝的力学性能试样。在通有氮气的管式炉中于 770、800 或 820℃ 保温 20 min 后,水冷,得到由马氏体和铁素体所构成的双相钢试样^[4]。

表 1 合金的化学成分 (wt%)

合 金 号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V	N	Fe
153-1	0.13	0.28	1.31	0.005	0.009	<0.1	<0.1	0.04	0.008	余
153-2	0.05	0.32	1.32	0.032	0.008	<0.1	<0.1	0.04	0.008	余

热处理后的试样首先在电液伺服 MTS 810 试验机上测量拉伸或拉伸-压缩性能,然后用钼丝切割机切取其中段 12 mm 长的圆柱作为磁性试样,沿轴向磁化,以冲击抽拉法¹⁾测量矫顽力,最后在磁性试样端面测量维氏硬度(负荷 3 kg)

三、实验结果和讨论

1. 实验结果

表 2 给出两种合金八个试样的力学性能和矫顽力. 其中 ϵ_p 和 σ_f 为拉伸的塑性应变和流变应力, ϵ_p^R 和 σ_f^R 为随后压缩的塑性应变和流变应力, H_V 为维氏硬度, H_c 为矫顽力. 图 1 举例给出 153-2 合金 820°C 水淬的两个试样的流变曲线. 为了表征合金中的 Bauschinger 效应,由流变曲线得出的塑性应变为 0.05% 的流变应力 $\sigma_{0.05}$ 也列入表 2.

表 2 双相钢的力学性能和矫顽力

合金号	处理温度 (°C)	$\epsilon_p(\%)$	$\sigma_f(\text{MPa})$	$\epsilon_p^R(\%)$	$\sigma_f^R(\text{MPa})$	H_V	$H_c(\text{kA/m})$	$\sigma_{0.05}(\text{MPa})$
153-1	770	0.085	325	—	—	265	1.02	285
		0.090	332	0.050	252	263	0.67	252
	800	0.150	416	—	—	308	1.33	321
		0.135	385	0.100	347	310	0.78	279
153-2	770	0.140	259	—	—	176	0.61	217
		0.140	260	0.135	228	177	0.46	164
	820	0.130	345	—	—	206	0.88	279
		0.130	340	0.110	301	205	0.60	243

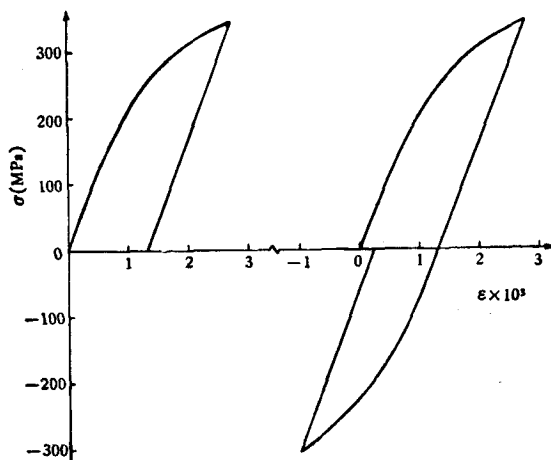


图 1 153-2 合金 820°C 水淬试样的流变曲线
左图为拉伸; 右图为拉伸加压缩

1) 内部资料.

2. 结果讨论

我们把同一合金同一热处理的两个试样看作一组, 把只经拉伸的试样叫试样 I, 拉伸后又压缩的叫试样 II. 则由表 2 看出, 四组中试样 II 的 $\sigma_{0.05}$ 均较试样 I 的为小. 而试样 I 的 $\sigma_{0.05}$ 与试样 II 在拉伸时的 $\sigma_{0.05}$ 基本相同. 表 2 中所列试样 II 的 $\sigma_{0.05}$ 较小完全是附加的反向变形的结果. 这就是通常所说的 Bauschinger 效应的表现.

比较四组试样的 H_c 发现, 试样 II 的 H_c 与 $\sigma_{0.05}$ 同样也较试样 I 的为小. 令人惊奇的是: 拉伸加压缩后的 H_c 有时比拉伸前的还低 (例如 153-1 $\phi 5 \times 12$ mm 试样经 770℃ 和 800℃ 水冷后的 H_c 分别为 0.81 和 1.17 kA/m). 这就是说, 正向变形造成磁性硬化, 而正向变形后再适当地反向变形可导致磁性软化, 其软的程度有时比未变形前还软, 这种变形致软的效应是十分有趣的.

每组两个试样的 ϵ_p 和 σ_f 近于相同, 试样 II 的 $\sigma_{0.05}$ 和 H_c 低于试样 I 者应归因于附加的压缩. 四组试样由于附加压缩产生的 $\sigma_{0.05}$ 和 H_c 的相对减小量列于表 3. 可以看到, $\sigma_{0.05}$ 的减小量较 H_c 为小. 而表 2 中所列出的与 H_c 相对应的流变应力的相对减小量 (尽管其拉伸和压缩的塑性应变变量不同) 也较 H_c 的为小.

表 3 附加压缩产生的 $\sigma_{0.05}$ 和 H_c 的相对减小量

合 金 号	处理温度(℃)	$\frac{\sigma_{0.05}^I - \sigma_{0.05}^{II}}{\sigma_{0.05}^I}$	$\frac{H_c^I - H_c^{II}}{H_c^I}$
153-1	770	12%	34%
	800	13%	41%
153-2	770	24%	25%
	820	13%	32%

与 $\sigma_{0.05}$ 和 H_c 的情况相反, 试样 I 和 II 的 H_V 之间没有超过测试误差的差别. 这说明, 初始流变应力的变化不能以 H_V 值反映.

H_c 和 $\sigma_{0.05}$ 的相似变化规律, 隐含着其机制的相似性. Bauschinger 效应发现百多年来, 已对它作过大量研究, 目前仍认为其机制相当复杂^[5], 而研究不同应变历史后的 H_c , 将有助于对 Bauschinger 效应机制的理解. 可较好地反映合金在大塑性变形下流变应力 (如抗拉强度) 的 H_V , 却对 $\sigma_{0.05}$ 的变化毫无反应, 这进一步显示了用 H_c 研究 Bauschinger 效应的优越性, 以及 H_c 变化对应变历史的敏感性.

四、小 结

同合金中的 Bauschinger 效应一样, 拉伸加压缩后合金的矫顽力也小于拉伸后合金的矫顽力, 而由于随后压缩所造成的矫顽力相对减小量比初始流变应力的相对减小量要大.

孙珍宝、戴礼智、吴宝榕先生指导了本工作,李庆云、钱义、汪德根等同志在实验工作中给予了帮助,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] H. G. van Bueren, *Imperfections in Crystals*, North-Holland Pub. Co., Amsterdam, (1960), p. 240.
- [2] 冯 端、王业宁、丘第荣, *金属物理*, 科学出版社, 北京, (1975), 702页.
- [3] N. Thompson and N. J. Wadsworth, *Advances in Physics*, **25**(1958), 73.
- [4] J. Y. Koo and G. Thomas, *Materials Science and Engineering*, **24**(1976), 187.
- [5] R. Sowerby, D. K. Uko and Y. Tomita, *Materials Science and Engineering*, **41**(1979), 43.

BAUSCHINGER EFFECT AND COERCIVITY IN DUAL PHASE STEELS

MA MING-TU CHEN DU-XING

(*Central Iron and Steel Research Institute, Ministry of Metallurgical Industry, Beijing*)

ABSTRACT

Initial flow stresses and coercivities during and after tension and tension plus compression in ferrite-martensite dual phase steels have been measured. It was found that both parameters for tension plus compression are smaller than those for tension only. For the flow stress, this phenomenon is called Bauschinger effect. The relative decrease of coercivity is larger than that of flow stress.