

# 升温率和应变率对 30CrMnSi 拉伸强度的影响\*

王春奎 黄晨光 孙原龙 段祝平

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要** 报道了硬度 HRC 为 20 和 40 的两种 30CrMnSi 材料在 100—900 ℃ 的力学性能及升温率、应变率和热处理条件对抗拉强度、屈服强度的影响。在低温区, 材料性能随温度的升高, 呈现缓慢下降, 其数值与常温相差不多, 热处理状态对该区影响甚大, 升温率有一定影响; 在高温区, 材料强度大大降低, 其数值随温度变化不大, 不同升温速率的影响及热处理状态影响消失; 在中温区, 材料性能随温度升高呈现快速下降趋势, 热处理状态对材料性能影响大, 不同升温率对材料性能影响不大。

**关键词** 30CrMnSi 钢, 热处理, 应变率, 力学性能

90 年代初, 激光破坏机理的深入研究<sup>(1—3)</sup>, 为数值模拟提供了依据和素材, 并指出满足该数值模拟的计算, 需要在高升温率下, 获得材料各温度的力学性能。本文给出了 30CrMnSi 在高升温率、高温和不同应变率下的实验结果。

## 1 实验方法

实验用 30CrMnSi 材料的化学成分(wt-%)为: Mn 1.14, Si 0.67, Cr 0.89, Ni 0.18, S 0.09 余为 Fe。两种热处理分别为 880 ℃ 油淬, 560 ℃ 回火及 880 ℃ 油淬, 415 ℃ 回火。前者实测硬度 HRC 为 20±1, 常温抗拉强度为 1014 MPa; 后者硬度 HRC 为 40±1, 常温抗拉强度为 1485 MPa。用前一种热处理条件得到的样品做静态高温拉伸实验; 用后一种样品做高升温率和高应变率的高温拉伸实验。

静态拉伸实验是用 INSTRON 材料试验机做的常规高温拉伸实验。高升温速率和高应变率的拉伸实验是在 GLEEBLE 1500 材料试验机上进行的。最高升温率可达到 4000—5000 ℃ / s。在 1700 ℃ / s 以下时, 其升温率及温度可以由计算机程序控制。本实验中应变率不变, 升温率和温度在程序中设定。到设定的温度后, 若作 10<sup>-3</sup> / s 量级应变率的实验时, 控温作用仍保持, 并立即转入恒定应变率的拉伸加载实验, 直到拉断。若作 10<sup>0</sup> / s 应变率的实验时, 因实验时间仅持续 100 ms 左右, 时间很短, 所以达到设定温度后, 立即关闭加热电源, 再作实验。由热电偶测量其升温率及温度历史。实验机通过位移传感器, 测

\* 本工作是国家高技术计划激光技术领域资助项目

收到初稿日期: 1995-01-26, 收到修改稿日期: 1995-06-16

本文通讯联系人: 王春奎, 副研究员, (北京 100080)中国科学院力学研究所

量试件上与热电偶同一截面的径向变化。测量结果换算为应变值输出；同时由应力传感器给出对应的真应力值，或载荷值（该机器应力的最大量程为 980 MPa，超过该值只能用载荷值输出）。若是载荷值，则由下式换算为应力值（假设试件在变形中体积不变）。

$$\sigma = 4 (1 + \varepsilon) P / (\pi d_0^2)$$

其中  $\sigma$  为应力， $P$  为载荷， $d_0$  为试件的初始直径， $\varepsilon$  为与  $P$  对应的应变。

## 2 实验结果和分析

第一种热处理样品，其常规高温静态拉伸实验结果如图 1。可以看到：500 °C 以上，UTS 和 0.2 YS 值很快下降。700 °C 时，两强度值降到大约常温值的 10%。到 800 °C 以后缓慢下降。

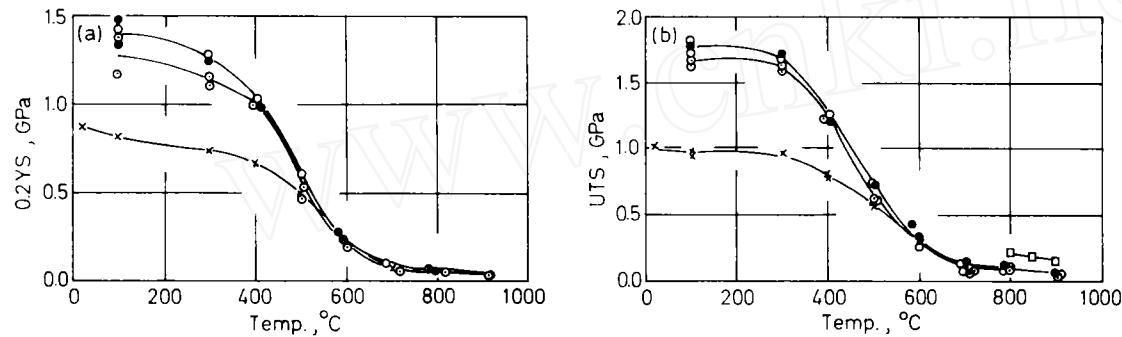


图 1 30CrMnSi 在各温度下的屈服强度(a)及抗拉强度(b)

Fig.1 Yield strength (a) and ultimate tensile strength (b) of 30CrMnSi

×—560 °C tempering static state; ●—415 °C tempering, 100 °C / s,  $10^{-3}$  / s; ○—415 °C tempering, 500 °C / s,  $10^{-3}$  / s; ●—415 °C tempering, 1500 °C / s,  $10^{-3}$  / s; □—415 °C tempering 1500 °C / s,  $10^0$  / s

第二种热处理的 30CrMnSi 样品，用 100、500 和 1500 °C / s 三种不同升温率，用相同的  $10^{-3}$  / s 的应变速率及 1500 °C / s 升温率和  $10^0$  / s 的应变速率，所得的抗拉强度和屈服强度结果也示于图 1 中。可以看到：30CrMnSi 的力学性能与温度的关系，可分为三个温区。低温区，材料性能随温度的升高，呈现缓慢的下降，其数值与常温相差不多。该区热处理状态对其影响甚大，回火温度是它与中温区的定界温度。图中显示升温率有一定影响。如抗拉强度和屈服强度，在三种不同升温率时，数值有一定差距，但在 500 和 1500 °C / s 时，他们之间又显示不出有差别。

高温区，材料强度大大降低，其数值随温度变化不大。不同升温速率间的变化也不大。而且和热处理状态关系也不大。但是，该区的材料性能对应变率却比较敏感，应变率高则抗拉强度也高。800 °C 时， $10^0$  / s 应变速率的抗拉强度比  $10^{-3}$  / s 应变速率的结果高 1 倍；到 900 °C 时，高出了 1.5 倍。它与中温区的温度界限大约在 630 °C 附近。

中温区，材料性能随温度升高呈现快速下降趋势，热处理状态对材料性能影响也大，但不同升温率对材料性能影响不大。

图 2 是 415 ℃回火的材料用三种升温率,在 800 ℃下,拉伸后的金相照片。从这些照片发现,各个不同升温率的金相组织差别显著。特别是升温率为 100 ℃ / s 时,铁素体已变成圆形亮块。

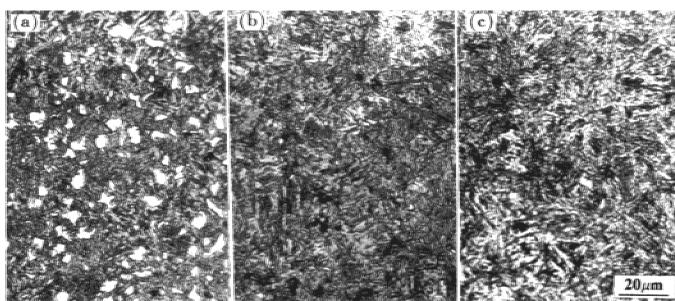


图 2 30CrMnSi 材料的金相照片

Fig.2 Metallographs of 30CrMnSi after tensile test at 800 °C

(a) 100 °C / s (b) 500 °C / s (c) 1500 °C / s

各试件的升温时间最长的仅有 8 s,而加载和保温时间一般是 4 min。从时间看升温时间似可忽略。在各温度下,温度和加载都一样,时间也相当,金相组织也应该一样。但实际上并不相同,其差别可能来自升温时间的不同。可见升温时间虽然短,但对金相组织影响不可忽视。这一影响在低温区反映在不同升温速率的金相组织会不同,材料强度参量也出现少许差别。中温和高温区金相组织也出现了变化。但在中、高温区内,材料塑性流动性更强,抵制流动的机制更复杂,虽有可观察到的金相组织差别,却未能引起材料宏观力学参量的不同。这一现象的解释,需要更深入一步的研究。

综上所述,回火组织是 30CrMnSi 在低温区力学性能的控制要素。升温速率的差异,会造成金相组织不同,对宏观力学性能略有影响,但不甚明显。高温下,材料力学性能对应变速率敏感,温度越高越显著。中温区,材料强度随温度的升高,线性下降。

本实验得到机电部北京机电研究所白秉哲博士和杨鲁义高级工程师自始至终的帮助。金相由力学研究所 LNM 沈环老师帮助完成。高级工程师张冉达和杨振宇在数据分析过程中提出了有益的建议。在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 1 孙承伟. 强激光引起材料和结构破坏的机理分析, 1991年激光的热和力学效应学术会议论文集, 中国科学院上海光学精密机械研究所主编, 上海嘉定, 1991; 1
- 2 刘仓理, 刘绪发, 张 宁, 张可星, 李齐民, 王春彦, 袁永华, 桂元珍, 李晓兰, 李建民. CW / COIL 激光热效应实验综述, 1993 年激光的热和力学效应学术会议论文集, 国防科技大学光子对抗研究中心主编, 长沙, 1993; 373
- 3 刘绪发. 铝合金柱壳、板的8KWCWCO<sub>2</sub>激光热—力耦合破坏演示, 1992年激光的热和力学效应学术会议论文集, 中国工程物理研究院流体物理研究所主编, 绵阳, 1992; 1

## INFLUENCE OF HEATING RATE AND STRAIN RATE ON TENSILE STRENGTH OF 30CrMnSi

WANG Chunkui, HUANG Chenguang, SUN Yuanlong, DUAN Zhuping, (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(Manuscript received 1995-01-26, in revised form 1995-06-16)

**ABSTRACT** The influence of temperature, heating rate and strain rate on the tensile and yield strength of 30CrMnSi at the temperature range from 100 °C to 900 °C has been investigated. At low temperature region the performance parameters of material with a rise of temperature is dropped slowly and the heat treated condition has a great effect on the behavior of material, but the effect of elevating temperature rate can not be neglected. At high temperature region the material strength reduced greatly is not changed notably with the increase of temperature, heating rate and the heat treated condition. At the middle temperature region, the performance of material is fast dropped with the increase of temperature and the effects of the elevating temperature rate and the heat treated condition are not obvious.

**KEY WORDS** 30CrMnSi, mechanical property, heating rate, strain rate

*Correspondent:* WANG Chunkui, associate professor, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080