

模具钢 H13 高温变形行为及轧制工艺

High Temperature Deformation Behavior and Rolling Technology of Die Steel H13

供稿|李涛, 王德勇, 齐锐, 王健 / LI Tao, WANG De-yong, QI Rui, WANG Jian

内
容
导
读

H13 是国内外应用广泛的空冷硬化热作模具钢种。在热模拟实验机上对 H13 模具钢进行单道次压缩实验, 变形速率设定为 1.0 s^{-1} , 在 $950\sim 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内, 讨论变形温度及变形量对 H13 钢变形抗力的影响规律。通过研究 H13 钢高温变形过程行为机制, 制定合理的轧制温度和轧制规程, 促进动态回复和动态再结晶软化机制的发生, 从而降低变形抗力, 顺利实现 H13 钢锭一火轧制产材。

H13 是一种典型的空冷硬化热作模具钢, 抗热裂能力良好, 适合工作温度低于 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 。其工艺性能优良, 是目前国内外应用最广泛的热作模具钢种之一^[1-3]。通常用于制造铝铸件用的热挤压模、压铸模、热锻模的热冲孔模具、热切边模等, 还广泛应用于铜及其合金的压铸模具^[4-5]。H13 钢中合金元素含量高达 9%, 奥氏体在高温变形过程所发生的组织结构变化复杂, 通过研究 H13 钢高温变形行为, 确定合理的轧制参数, 保证工业化生产顺利进行。

实验材料及方法

实验材料

实验所用材料为某厂热作模具钢 H13, 化学成分如表 1 所示。使用线切割对试样进行加工, 样品尺寸为 $\phi 8 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 圆柱体。

实验方法

在 Gleeble-2000 热模拟机上进行高温压缩实验, 模拟钢材轧制过程变形行为。变形速率设定为 1.0 s^{-1} , 变形温度分别设定为 950 、 1000 、 1050 、 1100 和 $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 。首先样品按照 $5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 的加热速率升温至 $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, 保温 5 min , 然后以 $20 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 冷却至变形温度, 保温 30 s 后开始压缩变形, 变形后立即淬火冷却。其热处理工艺如图 1 所示。

实验结果与讨论

应力-应变曲线

实验测得 H13 钢在不同变形温度条件下的高温真应力-真应变曲线如图 2 所示。

从曲线可以看出, 在变形初始阶段, 应力急剧增加, 超过某一极值后, 应力呈先下降而后趋于恒

表 1 H13 钢的化学成分 (质量分数, %)

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Cu	Ni
H13	0.39	0.94	0.3	0.013	0.002	4.94	1.4	0.98	0.02	0.05

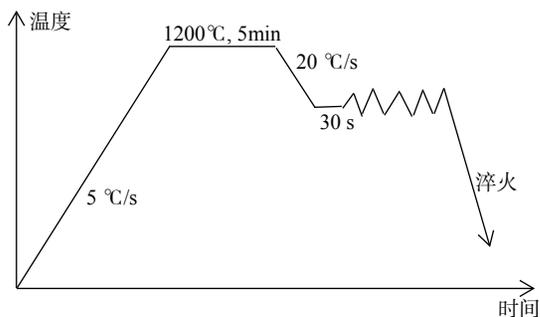


图 1 试样热处理工艺

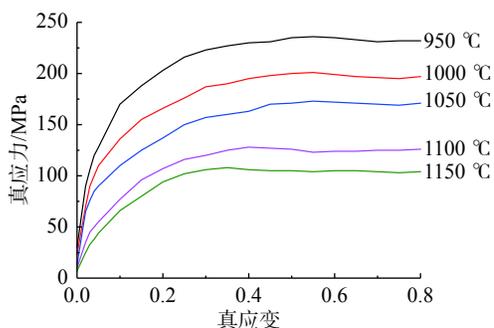


图 2 H13 钢真应力-真应变曲线

定值。在相同变形速率和变形程度的条件下, 变形抗力随着变形温度的升高而降低。

金属高温变形行为机制

变形温度在再结晶温度以上称为热加工, 金属在热变形过程中发生动态回复、动态再结晶、应变诱发沉淀相的动态析出。变形温度、变形速率和变形程度是影响钢高温变形行为的主要外因^[6]。钢在高温变形过程中, 变形抗力受加工硬化和组织软化两方面影响。钢在塑性变形过程中是按位错运动来完成的, 随着变形程度的增大, 位错密度不断增大, 导致加工硬化不断增大。钢的组织软化有 2 种机制: (1) 动态回复。动态回复的实质是部分位错的重排和消失。当位错密度增大到一定程度后, 通过滑移等运动方式, 使部分位错重新排列或消失, 发生动态回复。当变形量增大到一定程度时, 应力将逐渐低于线性增长规律, 这是由热变形过程中的动态回复造成的。(2) 动态再结晶。变形程度继续增大, 动态回复不足以抵消新位错, 当位错密度增大到某

一极值时, 聚集的能量将驱使奥氏体发生动态再结晶, 新的晶粒开始形核并长大。加工硬化存在于高温变形整个过程, 同时动态回复和动态再结晶也随变形而不断的发展, 当加工硬化和动态回复、动态再结晶引起的软化达到动态平衡时, 变形抗力将趋于某一恒定值^[7]。

结合图 2 真应力-真应变曲线进一步分析, 变形开始阶段发生加工硬化, 变形抗力陡增。随着变形的继续, 将发生动态回复软化, 导致变形抗力增速减缓。继续变形将发生动态再结晶软化, 变形抗力略有降低。随着变形的继续, 在硬化和软化机制共同作用下, 应力-应变曲线接近于水平状态。随着变形温度升高, 金属原子的热振动加剧, 原子扩散能力增强, 滑移阻力降低, 位错通过滑移等方式运动更容易, 奥氏体的形核速度、长大速度均提高, 有利于动态回复和动态再结晶软化过程的发生, 造成变形抗力降低。

轧制工艺研究

影响 H13 钢高温变形抗力的外因主要有轧制温度、轧制速度、压下量等。实验研究表明, 选择较高的轧制温度, 可以减小变形抗力。高温变形过程产生的奥氏体组织结构将影响后续冷却过程的组织转变。在工业生产中, 同时考虑轧机负荷, 能源消耗、初始奥氏体晶粒尺寸等因素, 选择合适的工艺参数, 优化动态再结晶过程, 使产品获得优良的组织性能。

工艺路径

本次热作模具钢 H13 采用电炉模铸锭—火轧制工艺生产, 具体生产工艺流程为: 高炉铁水→50 t 电炉冶炼→LF 精炼→VD 真空脱气→3.16 t 模铸锭→均热炉加热→1150 粗轧机组轧制→连轧机组轧制→保温坑缓冷→退火→精整→检验→包装入库。钢锭规格尺寸见表 2。

表 2 H13 钢锭规格

头部断面尺寸/mm ²	尾部断面尺寸/mm ²	长度/mm	帽口高度/mm
546×546	426×426	1764	240

加热

采用温装工艺, 模铸锭脱模后装炉, 要求钢锭

温度 $\geq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，采用上部四角烧嘴换热式均热炉进行加热，炉子供热是由位于靠近炉坑上部四个角安装的套筒烧嘴喷入煤气，与热风道上的热空气混合后进行燃烧而获得。装炉时钢锭大头向上，钢锭不准靠放在烧嘴围墙上。钢锭各部位要均匀透烧，定期进行翻面。加热工艺曲线如图3所示。

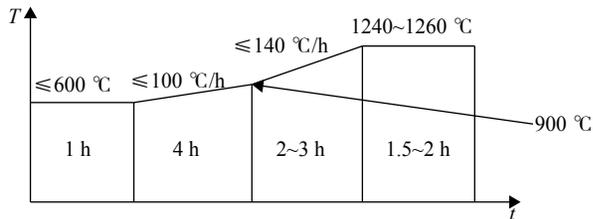


图3 H13钢锭加热曲线

轧制及保温

模铸锭经过粗轧机11道次开坯后，进入连轧机组轧制，产材规格 $\phi 100\text{ mm}$ ，粗轧轧程见表3。轧制前关闭高压水除鳞系统，调整好轧机冷却水强度，避免轧制过程中钢材局部冷却过快导致裂纹产生。保证开轧温度 $\geq 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，终轧温度 $\geq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。轧后钢材快速下线入保温坑保温，保温坑里使用红钢垫底，要求入保温坑温度 $\geq 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，出保温坑温度 $\leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温时间大于48 h。

结束语

(1) 在变形速率和变形程度一定的条件下，变形温度在 $950\sim 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内，H13钢变形抗力随温度的升高而降低。

(2) 在变形速率和变形温度一定的条件下，H13钢变形抗力随变形量的增大先急剧增加，而后增速减缓，最后应力-应变曲线趋于水平。

(3) 通过对工业生产过程中的加热制度、轧钢温

表3 H13钢粗轧轧程

道次	翻钢	料型宽度/mm	料型高度/mm	辊缝/mm	压下量/mm
1	翻钢	567	480	420	80
2	—	575	400	340	80
3	翻钢	409	480	420	95
4	—	422	395	335	85
5	翻钢	410	350	290	73
6	—	434	268	208	82
7	翻钢	288	368	208	66
8	—	311	290	130	78
9	翻钢	299	280	120	32
10	—	310	245	85	35
11	翻钢	267	235	75	75

度、轧制规程等工艺参数合理的设计，实现H13钢锭一火轧制产材，节省能耗，降低生产成本。

参考文献

- [1] 王春琼, 李长荣. H13钢中非金属夹杂物在LF-VD精炼过程的行为研究. 模具工业, 2007, 37(6): 63
- [2] 霍晓阳. 影响H13热作模具钢等向性的因素. 钢铁研究学报, 2008, 20(11): 47
- [3] 崔崑. 国内外模具用钢发展概况. 金属热处理, 2007, 32(1): 1
- [4] 徐进, 姜先, 陈再枝. 模具钢. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- [5] 干勇, 田志勇, 董瀚. 中国材料工程大典. 北京: 化学工业出版社, 2005
- [6] 周纪华, 管克智. 金属塑性变形阻力. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [7] 赵春辉. 结构钢复杂三维热塑性变形中再结晶过程的数值标模拟[学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2005

作者简介: 李涛 (1987—), 男, 工程师, 硕士, 2013年毕业于北京科技大学冶金与生态工程学院钢铁冶金专业, 现工作于本钢板材股份有限公司技术研究院, 从事钢铁产品生产工艺技术研究工作。E-mail: 172564456@qq.com。