

重型汽车半轴用45MnSiVSQ非调质钢晶粒长大 试验研究

严超峰¹, 冯毅², 丁福明³, 高翔², 马鸣图², 谢余¹

1. 陕西东铭车辆系统股份有限公司 陕西铜川 727031

2. 中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆 401122

3. 陕西汉德车桥有限公司 陕西西安 710201

摘要: 对45MnSiVSQ非调质钢模拟锻造加热工艺, 在不同加热温度900~1250℃ 和保温时间15~120min下的奥氏体晶粒长大规律进行了研究。采用金相定量法对加热后材料的奥氏体晶粒度进行测量评级和TEM观察微观组织形貌, 并与37MnSiVSQ非调质钢进行了对比。结果表明: Nb-V-Ti复合微合金化45MnSiVSQ非调质钢再加热过程中, 由于微观析出相碳氮化物显著地抑制奥氏体晶粒长大, 具有较好的锻造工艺性, 故该钢材零部件锻造加热温度可控制在1050~1250℃, 保温时间不超过120min为宜, 对该材料在实际生产中具有一定的指导意义。

关键词: 重型汽车; 半轴; 非调质钢; 晶粒长大

1 序言

重型汽车半轴在锻造成形工序的加热阶段, 工件内部的晶粒会随加热温度的升高和保温时间的延长进一步长大, 这些晶粒的长大对产品最终的服役性能具有重要影响。本文在试验基础上, 分析加热温度和保温时间对45MnSiVSQ非调质钢^[1]晶粒长大的影响, 描述了不同加热温度和保温时间下晶粒长大规律, 并采用金相法对加热后材料的奥氏体晶粒度进行测量评级和TEM观察微观组织形貌, 并与37MnSiVSQ非调质钢进行了对比。结果表明, Nb-V-Ti复合微合金化45MnSiVSQ非调质钢再加热过程中, 由于微观析出相碳氮化物显著地抑制奥氏体晶粒长大, 具有较好的锻造工艺性, 故该钢材零部

件锻造加热温度可控制在1050~1250℃, 保温时间不超过120min为宜, 对该材料在实际生产中的应用具有一定的指导意义。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

试验材料为国内某大型特殊钢企业生产的 $\phi 60\text{mm}$ 的45MnSiVSQ非调质钢和37MnSiVSQ热轧圆钢, 在1/2 R部位沿轧制方向加工成 $\phi 12\text{mm} \times 13\text{mm}$ 的圆柱试样各40个, 其化学成分见表1。钢材的原始组织为微细珠光体和铁素体, 目前该非调质钢已获得了广泛应用, 特别是在汽车制造业。

表1 试验材料的化学成分 (质量分数)

(%)

材质	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
45MnSiVSQ	0.45	0.58	1.35	0.011	0.004	0.22	0.15	0.07
37MnSiVSQ	0.39	0.56	1.26	0.012	0.036	0.25	0.24	0.005
材质	Al	V	Nb	Ti	N	H	O	Fe
45MnSiVSQ	0.021	0.12	0.025	0.019	157ppm	1.1ppm	13ppm	Bak
37MnSiVSQ	0.007	0.15	0.015	0.012	170ppm	1.4ppm	13.5ppm	Bak

注: 1ppm = 10^{-6} , 下同。

2.2 试验方法

45MnSiVSQ和37MnSiVSQ非调质钢在炉时间分别为15min、30min、60min、90min、120min，加热温度分别为900℃、950℃、1000℃、1050℃、1100℃、1150℃、1200℃、1250℃，加热到时间后取出样品淬火至室温。加热时两个钢种的样品一起放入、一起取出，保证两个钢种的试验结果具有可比性。

取金相试样磨光、抛光后，用过饱和苦味酸水溶液加少量洗涤剂进行热侵蚀，以显示奥氏体晶界。在光学显微镜下观察和测定奥氏体晶粒尺寸，分析奥氏体晶粒粗化温度范围，建立加热过程奥氏体晶粒长大模型。

侵蚀过程：取4g苦味酸于100mL蒸馏水中，加入2g十二烷基苯磺酸钠，水浴加热，温度从60℃开始。将抛光后的试样放入侵蚀液中2~3min后，将试样取出，用大量的水冲洗，并借助超声波清洗仪洗去试样表面残留的侵蚀液，待吹干后，在200倍光

学显微镜下进行观察。重复以上过程，直到出现清晰的奥氏体晶界。

需注意的是，在侵蚀的过程中，水浴加热的温度是不固定的，应根据加热温度的不同具体调整。一般情况下，加热温度一致，不同保温时间下的试样，其水浴加热温度是一样的。

3 试验结果

3.1 加热温度对奥氏体晶粒长大行为的影响

试验45MnSiVSQ非调质钢在不同温度、不同保温时间后所得到的原始奥氏体金相组织如图1~图8所示。图中括号内数字为平均晶粒尺寸和平均晶粒度级别，单位为μm/级。原始奥氏体晶粒度与加热温度的关系曲线如图9所示。从图9可以看出，相同保温时间下，加热温度越高，奥氏体平均晶粒尺寸越大，晶粒长大速度越快。45MnSiVSQ非调质钢在1050℃以前，奥氏体平均晶粒尺寸随温度变化缓慢，晶粒长大粗化温度为1250℃（加热至该温度保温30min奥氏体晶粒度4级）；37MnSiVSQ非调质钢

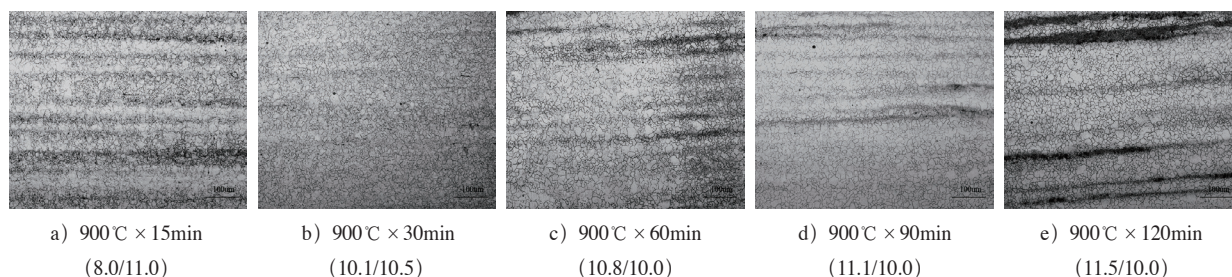


图1 试验材料经900℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

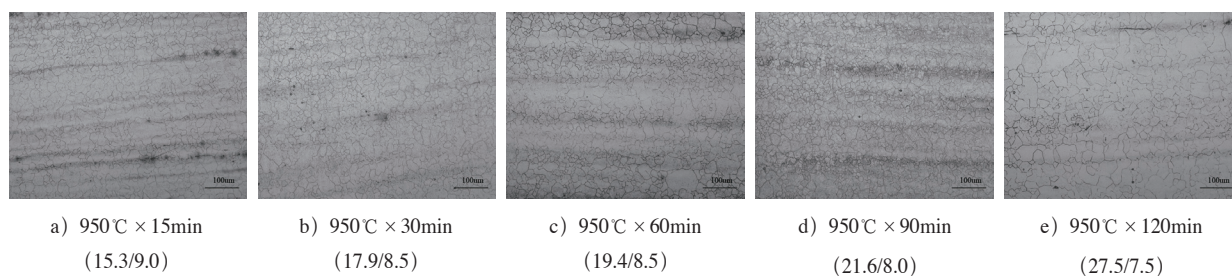


图2 试验材料经950℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

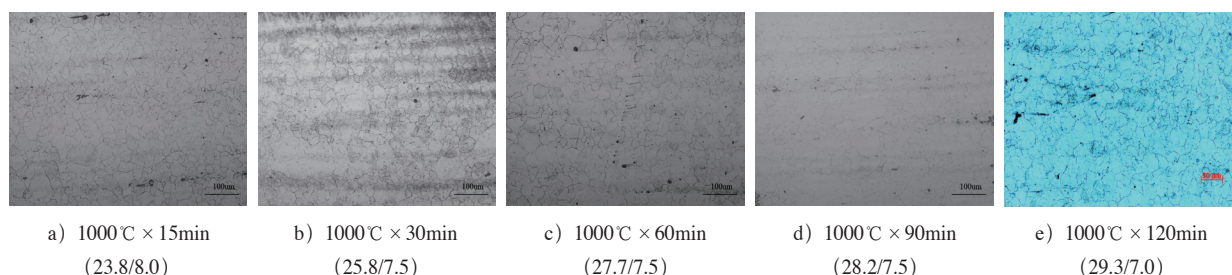


图3 试验材料经1000℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

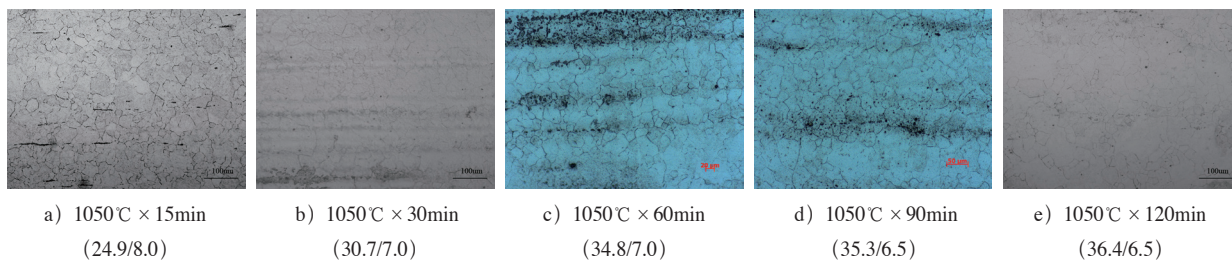


图4 试验材料经1050℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

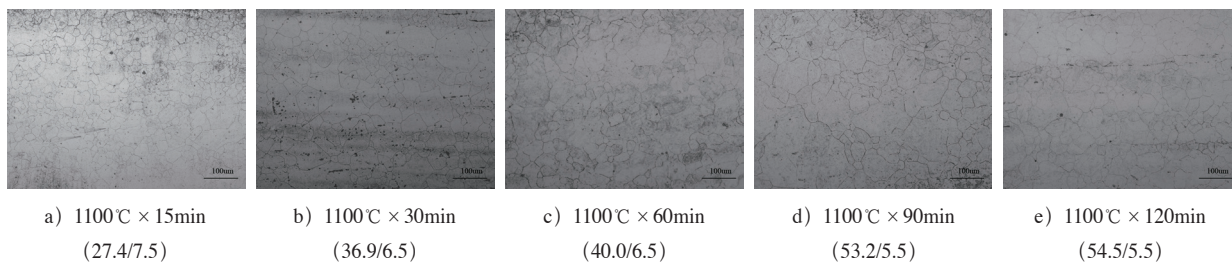


图5 试验材料经1100℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

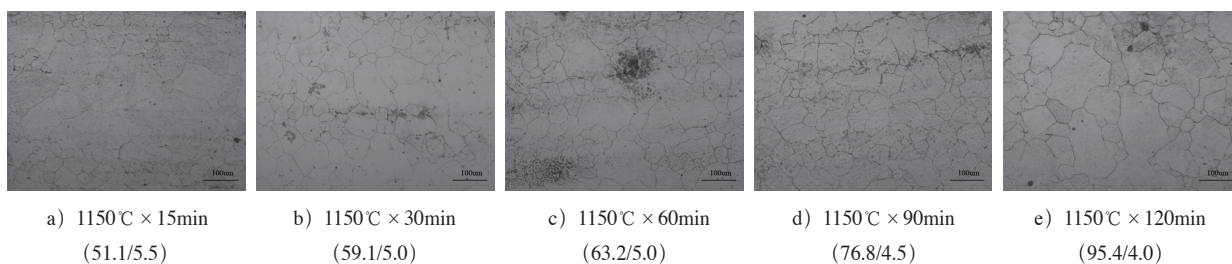


图6 试验材料经1150℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

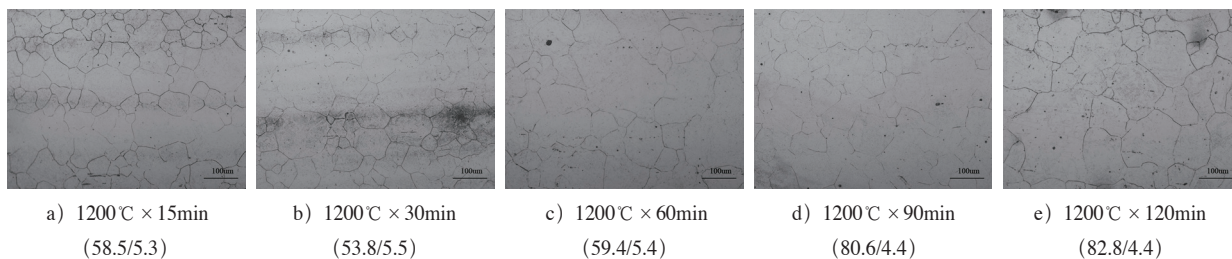


图7 试验材料经1200℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

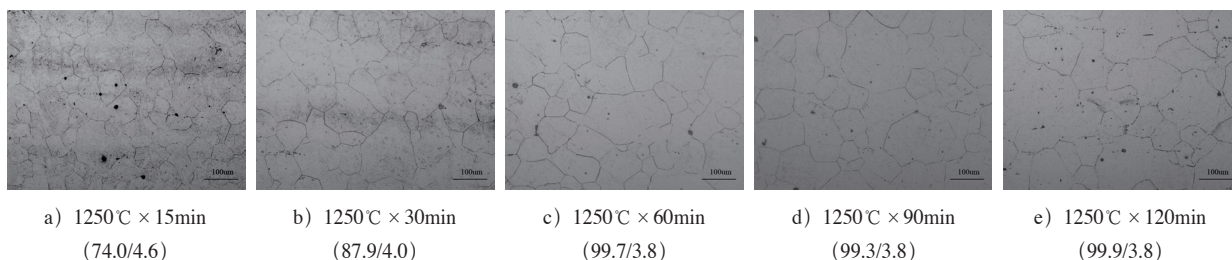
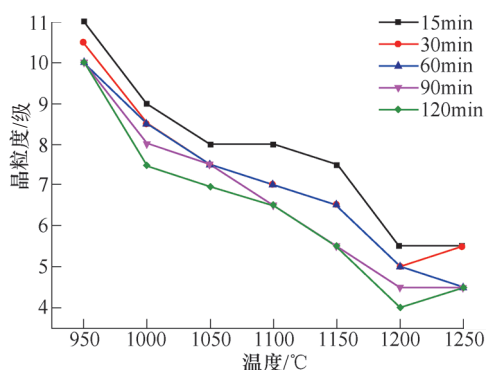


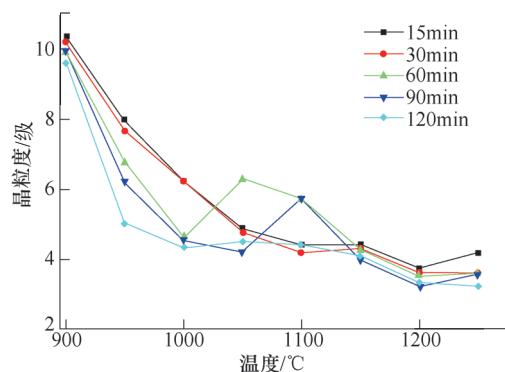
图8 试验材料经1250℃不同保温时间下的奥氏体金相组织

在1000℃以前,奥氏体平均晶粒尺寸随温度变化缓慢,晶粒长大粗化温度为1170℃较低。45MnSiVSQ和37MnSiVSQ非调质钢锻造成形温度应分别低于1250℃和1170℃。通过试验材料化学成分的对比分

析,45MnSiVSQ非调质钢含有较多的微合金化元素Nb、V、Ti,可显著地阻碍奥氏体晶粒长大,具有较好的锻造工艺性,锻造加热温度可控制在1050~1250℃,保温时间不超过120min为宜。



a) 45MnSiVSQ非调质钢



b) 37MnSiVSQ非调质钢

图9 加热温度与奥氏体晶粒晶粒度的关系

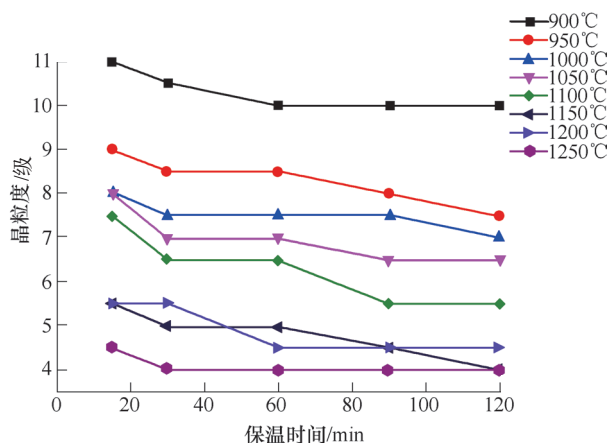
3.2 保温时间对奥氏体晶粒尺寸及晶粒度的影响

图10所示为45MnSiVSQ和37MnSiVSQ非调质钢在不同温度下,保温时间与奥氏体平均晶粒度级别的关系曲线。从图10可以看出,奥氏体平均晶粒度随保温时间的延长而长大,且随着保温时间的延长,晶粒长大速度不断降缓^[2]。曲线可分为三个明显的温度区域: $\leq 900^{\circ}\text{C}$ 、 $950\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 区域、 $1150\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 区域;与37MnSiVSQ非调质钢相比,45MnSiVSQ非调质钢区域更明显,这是由于随着温度的升高V、Nb、Ti在不同温度固溶度不同,阻碍晶粒长大效果不同,且随着含量的增加区域越明显,晶粒长大速度越缓慢。

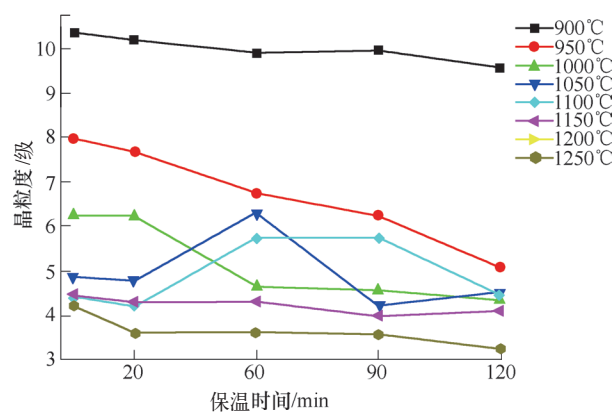
4 分析与讨论

4.1 化学成分对奥氏体晶粒长大的影响

通过Nb-V-Ti复合微合金化45MnSiVSQ非调质钢(代替42CrMo钢)与37MnSiVSQ非调质钢(代替40Cr钢)化学成分的对比和工业化应用数据分析,当 $w_{\text{Nb}} \geq 0.020\%$ 、 $w_{\text{Ti}} \geq 0.015\%$ 时(见表2),可显著提高非调质钢奥氏体晶粒长大,粗化温度



a) 45MnSiVSQ非调质钢



b) 37MnSiVSQ非调质钢

图10 保温时间与奥氏体晶粒度级别的关系

1200℃,以保障锻造加工零件的安全服役性能。

表2 复合微合金化45MnSiVSQ非调质钢的化学成分
(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.44	0.56	1.39	0.014	0.033	0.17	0.13	0.03
Al	V	Nb	Ti	N	H	O	Fe
0.015	0.08	0.020	0.015	147ppm	0.6ppm	4ppm	Bak

用表2所述化学成分的非调质钢制成的国内某知名皮卡半轴经30.45万次疲劳试验后样品完好(见图11),30.80万次花键处略有磨损痕迹(见图12),符合型式试验和零件服役性能要求。



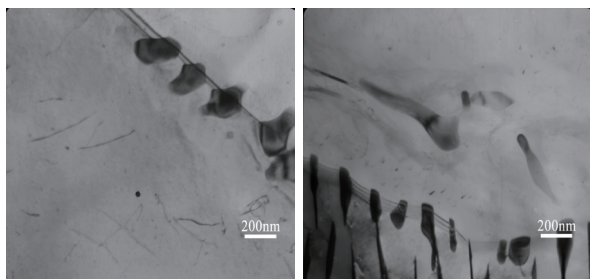
图11 半轴经30.45万次疲劳试验后样品完好



图12 半轴经30.80万次疲劳试验后花键处磨损

4.2 析出相对奥氏体晶粒长大的影响

图13所示为试验45MnSiVSQ和37MnSiVSQ非调质钢透射电镜TEM微观组织形貌，从图中可以看出，微观形貌中有纳米尺寸（Nb、V、Ti）（C、N）的复合型碳氮化合物析出，且45MnSiVSQ非调质钢析出物较明显，尺寸<80nm，且数量较多。



a) 45MnSiVSQ非调质钢

b) 37MnSiVSQ非调质钢

图13 非调质钢析出相TEM图片

5 结束语

1) 重型汽车半轴用45MnSiVSQ非调质钢晶粒长大粗化温度达1250℃，可在1050~1250℃内锻造成形，而保持4级以上的奥氏体平均晶粒度。

2) 45MnSiVSQ非调质钢采用Nb-V-Ti复合微合金化成分设计， $w_{Nb} \geq 0.020\%$ 、 $w_{Ti} \geq 0.015\%$ 时，在冶炼轧制过程中（Nb、V、Ti）（C、N）纳米析出相，可显著提高该非调质钢再加热奥氏体晶粒长大粗化温度，具有较好的锻造工艺性。

参考文献：

- [1] 严超峰，包耀宗，王欢锐，等.重型汽车半轴用非调质钢的应用进展[J].金属加工（热加工），2018（2）：3-8.
- [2] 李伟，陈文琳，吴跃，等.42CrMo 钢加热时奥氏体晶粒长大演化规律[J].材料热处理学报，2015，36（1）：104-108.

MW 20211008

（上接第45页）

所有的“日”字形柱柱身无弯曲、无扭曲变形，且不需进行火焰矫正，使用效果良好，达到了使用要求。

为了巩固改进的工艺措施，本单位根据该措施，编制了某项目钢结构生产作业指导文件和钢结构生产组织设计文件，完善了“日”字形柱生产组织流程；制定了标准化作业文件，将焊接控制纳入规范化管理；加强过程监管和控制，保证工艺措施落实可靠，为今后的类似项目提供了宝贵经验和操作依据。

6 结束语

通过对比分析了传统“日”字形柱制造质量控制措施方法，针对“日”字形柱的壁板之间支撑方式和焊接参数两个方面，进行了优化改进。

1) 根据壁板间隔距离的大小，由传统的单一内隔板支撑改为内隔板加板条支撑，提高了壁板之间

的垂直度，降低了柱身的弯曲变形。

2) 当壁板厚度>16mm时，坡口加工方式由传统的火焰切割改为等离子切割，不仅改善了坡口质量，而且提高了工作效率。

3) “日”字形柱的主焊缝在焊接之前，先用手工焊打底，再用埋弧焊进行焊接，有利于减少柱身的扭曲变形。

上述措施对同类型的钢结构柱焊接质量控制具有一定的借鉴意义。

参考文献：

- [1] 王四喜.钢结构件制作焊接变形的控制与分析[J].陕西煤炭，2015，34（1）：124-126.
- [2] 戴九洲.钢结构工程焊接质量控制方式分析[J].住宅与房地产，2019（25）：108.

MW 20210705