

奥氏体化温度对 30CrMnSiNi2A 钢 等温淬火后组织和性能的影响

西北工业大学 张明星 胡光立
西安飞机制造公司 郭宗林

本文利用透射电镜研究了 30CrMnSiNi2A 钢在不同奥氏体化温度下马氏体区等温淬火后组织的变化。发现随奥氏体化温度升高, 马氏体板条间残余奥氏体膜增厚。试验表明, 30CrMnSiNi2A 钢的拉伸强度在 920℃ 处出现一小的峰值; 屈服强度在 960℃ 以下无明显变化。

The Influence of Austenitizing Temperature on the Microstructures and Properties of 30CrMnSiNi2A Steel after Isothermal Quenching

Zhang Mingxing Hu Guangli
(Northwestern Polytechnical University)
Guo Zonglin
(Xi'an Aircraft Manufacturing Company)

The changes of microstructure of 30CrMnSiNi2A steel after isothermal quenching from various austenitizing temperatures have been studied by using TEM in this paper. It has been found that the retained austenite films between martensite lath got thicker with the increasing of austenitizing temperature. The experimental results show that a small peak can be expected for tensile strength of the steel austenitized at 920℃ and the yield strength shows no significant change below 960℃.

一、前言

30CrMnSiNi2A 钢是目前我国航空工业中广泛应用的一种超高强度结构钢。由于该钢种及其有关技术资料是从苏联引进的, 故随着生产的发展、环境的变化以及采用国产材料后, 使得这些技术文件已不适应我国的具体情况。从 1976 年起各有关部门对该钢种国产材料的热处理工艺进行了系统研究。但这些研究多集中于等温温度、等温时间和回火工艺方面, 而对奥氏体化温度的研究却较少。本文的工作主要是分析在不同的奥氏体化温度下, 经马氏体区等温淬火后钢的组织 and 性能的变化, 以便为生产上合理选择该钢的奥氏体化温度提供依据。

二、试样制备及试验内容

本试验用钢是抚顺钢厂生产的 $\Phi 50\text{mm}$ 的电炉钢棒材, 其主要化学成分列于表 1。

表 1 试验用钢的主要化学成分

炉号	C	Cr	Mn	Si	Ni
3D50326-12	0.29	1.08	1.13	1.02	1.61

试验所用力学性能试样的加工过程为: 棒材改锻→预备热处理→粗加工→最终热处理→精加工→去应力回火。其中预备热处理为: 900℃ 正火+780℃ 不完全退火; 去应力回火工艺为: 180℃ 保温 3 小时。试样的最终热处理在箱式电炉中加热, 在硝盐浴炉中等温处理, 其工艺为: 分别经 900、920、940、960、980℃ 加热, 于 250℃ 等温 60 分钟淬火, 并于 250℃ 回火 180 分钟。力学性能试样均符合国标规定。

经不同奥氏体化温度加热并油淬后, 用直接腐蚀法显示原始奥氏体晶粒。腐蚀剂为: 过饱和苦味酸水溶液+少量海鸥洗涤剂。然后按弦计算法测定晶粒的平均直径并确定晶粒度等级。利用 H-800 透射电镜观察各不同温度奥氏体化后等温淬火后的组织变化。

三、试验结果及讨论

1. 等温淬火组织分析

电镜观察表明, 经不同温度奥氏体化并于 250℃ 等温 60 分钟后的组织组成基本不变, 均为马氏体 (M) + 下贝氏体 (B_T) + 残余奥氏体 (A_r) (图 1)。但其组织形貌变

化较大，随奥氏体化温度升高，除 M 板条束粗大外，M 板条间的 A_f 膜逐渐增厚(如图 2a、b、c)。测定了几种状态的 A_f 膜的平均厚度，结果列于表 2。可见 30CrMnSiNi2A 钢的奥氏体化温度从 900℃ 提高到 980℃，M 区等温淬火组织中 M 板条间 A_f 膜从 252Å 增加到 564Å。

关于 M 板条间 A_f 膜的存在及其对强韧性的影响已有许多报道，但这些研究大部分是针对直接淬火的组织，而对等温淬火组织的研究却较少。这两种不同的淬火方式，将导致组织结构有所不同。关于 M 板条间 A_f 膜的形成原因主要有两种学说：其一是所谓的奥氏体 (A) 加工稳定化学说。即认为，一旦形成板条 M，其周围的 A 将发生协作形变，引起加工硬化，使切变阻力增大，以致不利于 M 相变的进行；其二是所谓的化学稳定化学说。即认为，随 α' 相的形成，碳原子由 α' 相向周围 A 中扩散，使 M 板条周围 A 的碳浓度增加，A 也相应地变得稳定。如果按第二种学说，可以认为，由于等温淬火 M 形成的温度较高，碳原子的扩散能力较强，因而 M 板条周围富碳的 A 必然

较多，这样就表现为室温下 M 板条间具有较宽的 A_f 薄膜。这也可能是等温淬火比直接淬火钢韧性高的一个原因。

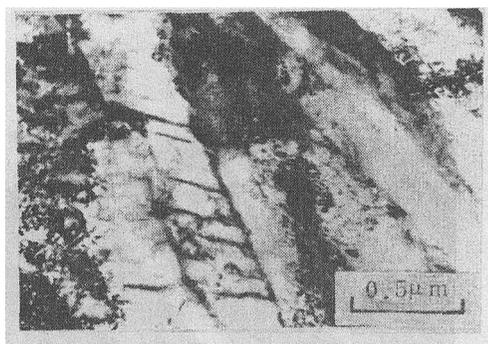
M 板条间 A_f 膜的厚度随奥氏体化温度的变化可从以下两方面来解释：

(1) 高温下，奥氏体中的空位密度 C 与温度存在指数关系：

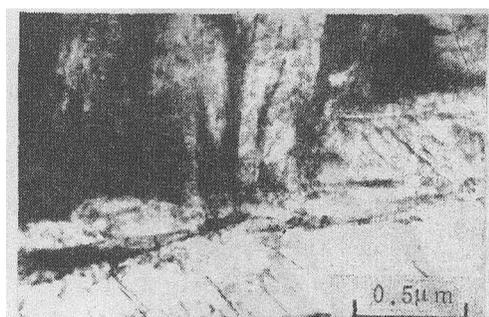
$$C = e^{-E_f/KT}$$

其中 E_f 为空位形成功。可见，奥氏体化温度升高，高温 A 中空位密度增大。这些空位在冷却时被部分保留下来，它们在 M 形成过程中起着加速碳原子扩散的作用，因而使 M 板条周围富碳 A 增多，按化学稳定化学说，这种 A 便以 A_f 膜形式存在于 M 板条间。

(2) 提高奥氏体化温度，使碳原子在 A 中位错线上的偏聚减小以及 A 中位错密度降低和 A 晶粒粗化，它们均使 A 的临界切应力降低，使 M_s 升高。这一结果在 4340 钢

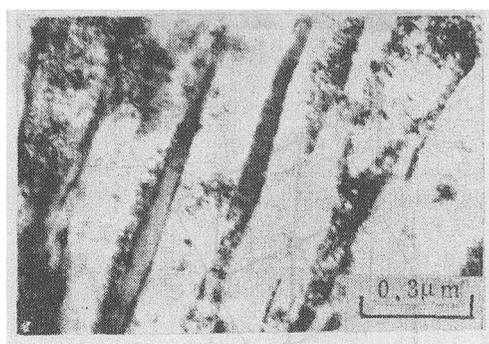


(a) 900℃ 加热

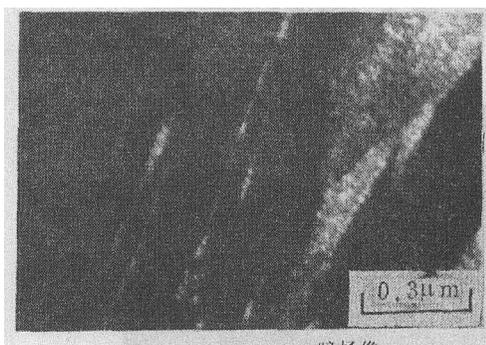


(b) 980℃ 加热

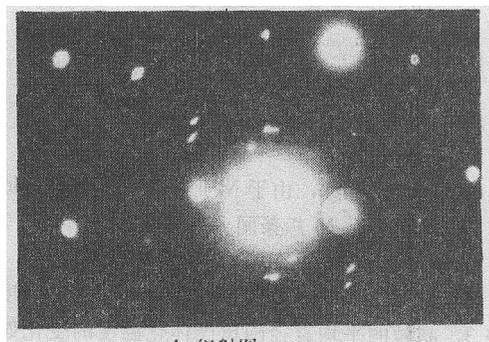
图 1 不同奥氏体化温度加热，250℃ 等温 60 分的电镀组织



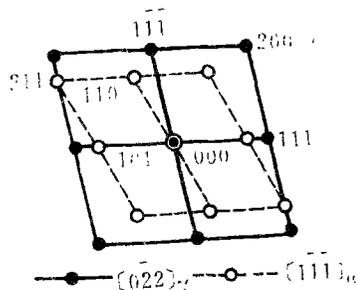
明场像



暗场像

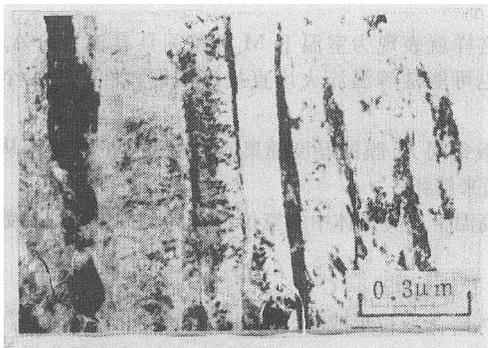


A_f 衍射图

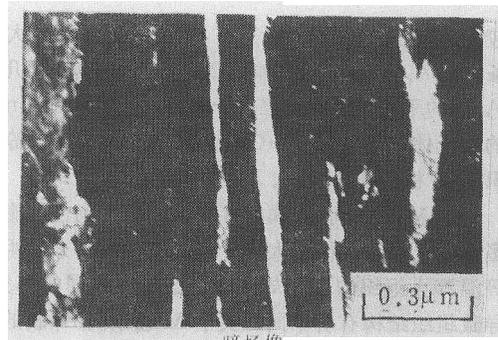


衍射图的指数化

图 2a 900℃ 奥氏体化



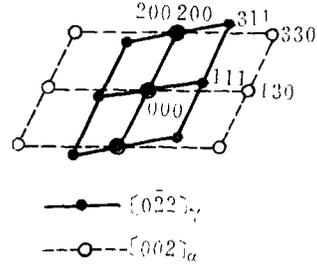
明场像



暗场像

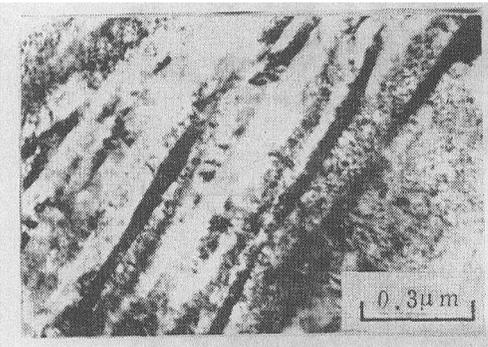


A_r 衍射图

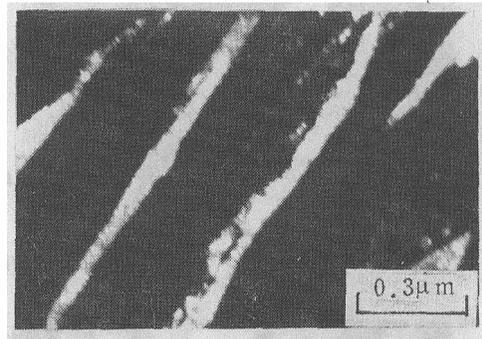


衍射图的指数化

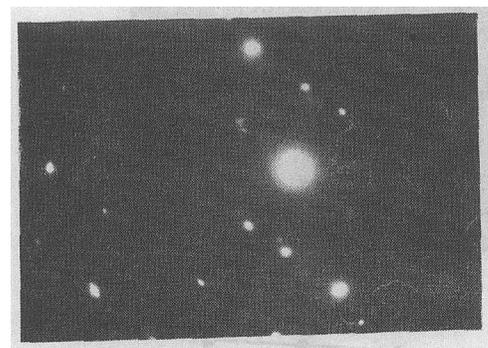
图 2b 940°C 奥氏体化



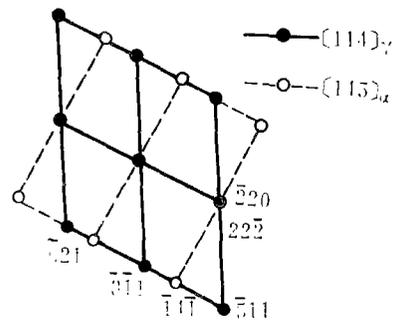
明场像



暗场像



A_r 衍射图



衍射图的指数化

图 2c 980°C 奥氏体化

表 2 不同温度奥氏体化后 M 板条间 A_r 膜厚度

奥氏体化温度(°C)	900	940	980
A_r 膜厚度(Å)	252	348	564

中已得到证实。因此，由于 M 形成温度升高，碳原子扩散加速，从而也导致 M 板条间 A_r 膜增厚。

2.30CrMnSiNi2A 钢的粗化温度

由金相法测得的不同奥氏体化温度下的晶粒度级别列于表 3，晶粒的平均直径随奥氏体化温度的变化如图 3 所示。

表3 不同温度奥氏体化时原始奥氏体的晶粒度

奥氏体化温度(°C)	900	920	940	960	980
晶粒度(级)	8.5	8.0	8.0	6.0	5.5

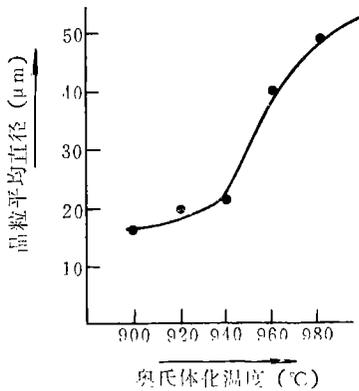


图3 奥氏体化温度与晶粒平均直径的关系

由此可见, 30CrMnSiNi2A 钢的粗化温度大约在 940°C ~ 960°C 之间。这可能与钢中 AlN 质点的溶解有关。

3. 常规力学性能随奥氏体化温度的变化

经不同温度加热, 250°C 等温 60 分钟淬火, 并于 250°C 回火 180 分钟后, 试验用钢的常规力学性能变化如图 4 所示。可见, 在 900~980°C 的加热温度范围内, 除拉伸强度在 920°C 处有一较小峰值外, 屈服强度在 960°C

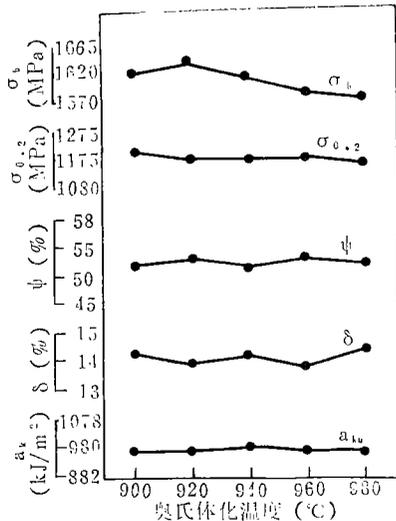


图4 奥氏体化温度对常规力学性能的影响

以下基本不变, 高于 960°C 则降低, 而塑性和冲击韧性在整个试验温度范围内变化不大。对力学性能的这种变化可作如下解释:

奥氏体化温度升高, 晶粒粗化, 必然导致拉伸强度和屈服强度下降。但在粗化温度以下, 晶粒尺寸并无明显变化, 而与 900°C 相比, 加热温度的提高会使少量未溶碳化物更充分溶解, 使奥氏体的合金度增加, 这样便导致拉伸强度在 920°C 处出现一个小的峰值, 而屈服强度在 960°C 以下基本保持不变。如继续升高温度, 则晶粒明显长大,

使拉伸强度和屈服强度均降低。塑性和冲击韧性随晶粒粗化而降低, 但又由于奥氏体化温度升高使 M 板条间 A_r 膜加厚, 导致裂纹扩展阻力增大, 同时也使钢中孪晶马氏体量减少, 这又对改善钢的韧性有利, 这样在两种因素的共同作用下使塑性和冲击韧性随奥氏体化温度升高不发生明显变化。

四、结论

1. 30CrMnSiNi2A 钢在马氏体区等温淬火时, 随奥氏体化温度升高, 马氏体板条间残余奥氏体膜增厚。

2. 30CrMnSiNi2A 钢的粗化温度大约在 940°C ~ 960°C 之间。

3. 30CrMnSiNi2A 等温淬火-回火后, 力学性能随奥氏体化温度的变化为: 拉伸强度在 920°C 处出现一较小峰值; 屈服强度在 960°C 以下基本无变化, 高于该温度则下降; 塑性和冲击韧性在整个试验温度范围内无明显变化。

残余应力非破坏检测学术交流、 研讨会在山东召开

中国力学学会实验应力分析专业委员会和中国机械工程学会无损检测学会应力检测专业委员会于 1990 年 10 月 17 日至 20 日在山东泰安联合召开了残余应力无损检测学术交流、研讨会, 来自高等院校、中国科学院和各部委有关研究所、工厂的 64 名代表参加了会议。会议共收到学术论文 40 篇, 编辑出版了论文集, 内容包括射线法、电磁及磁声发射法、超声法、应力释放法和干涉法等各种检测方法, 充分反映出我国在残余应力无损检测技术领域的发展状况。

残余应力的非破坏检测技术研究是个难度很大的课题, 这次会议上实验应力分析工作者、无损检测工作者和金属物理学工作者结合在一起, 以残余应力的无损检测技术为主题开展学术交流研讨在我国还属首次, 他们相互取长补短必将有力地推动残余应力检测技术的发展。

在宣读的论文中, 用 X 射线应力仪测量三维残余应力、用涡流法、电阻法及磁力学声发射法测量残余应力、用错位散斑和云纹干涉测量残余应力等论文, 对残余应力的测量提出新的思路, 有的论文有相当的研究深度, 有的涉及实际工程应用, 引起了与会代表的浓厚兴趣, 展开了热烈的讨论。

会议邀请了造诣较深的专家对超声应力测量和磁力学声发射技术进行了综合评述, 综观国内外的发展提出了有待研究的课题。会议还邀请了石化系统、铁路系统和水电系统的代表介绍各自领域中关于残余应力和相关方面存在的问题, 对如何解决这些问题专门组织了讨论, 促进了基础研究、应用研究和生产需求的结合, 沟通了三者渠道, 与会代表普遍反映收获很大, 并建议在适当的时机再召开这方面的研讨会。

(祝印兰)