410不锈钢锻前加热工艺优化

周云，游和清，侯磊

410不锈钢是按照美国ASTM标准生产出的不锈钢牌号，相当于我国1Cr13不锈钢材，属于马氏体不锈钢，淬透性好，具有较高硬度，较好韧性、耐腐性、热强性及机械加工性，广泛应用于刀具、阀门类产品。410不锈钢的导热系数随温度增加而增大，在700～800℃以下，410不锈钢的导热系数比普通合金钢的导热系数小，在700～800℃范围与普通合金钢的导热系数趋于一致。因此，对于直径大于100mm的毛坯，一般采用两段加热制度：在低温阶段（800℃以下），以较慢加热速度进行；在加热和均热阶段（800℃～始锻温度），进行快速加热，尤其是直径大于100mm的钢棒。因此，本文对此进行了研究，旨在优化410不锈钢的加热工艺，提高生产效率，精益生产。

1. 试验材料及方法

试验用宝钢公司生产410不锈钢锻圆钢棒，直径250mm，成分符合API6A规定，具体成分如表1所示。

试验通过用SHRX-320KW-13型箱式电阻炉，分别按照分段加热工艺曲线和连续加热工艺对坯料进行加热，每组各取两个，分段加热坯料编号为1、2，连续加热编号为3、4，具体加热曲线如图1所示，加热后的钢棒在德国舒勒(Schuler)SMG公司生产的PZS1050f螺旋压力机上进行锻造，变形温度为850～1180℃。

锻造完空冷至室温，取试样在CMT5205 微机控制电子万能试验机上进行室温力学试验，在JBS-300B 冲击试验机上进行-60℃冲击试验，在Observer.A1m型金相显微镜上观察金相组织。

2. 试验结果和分析

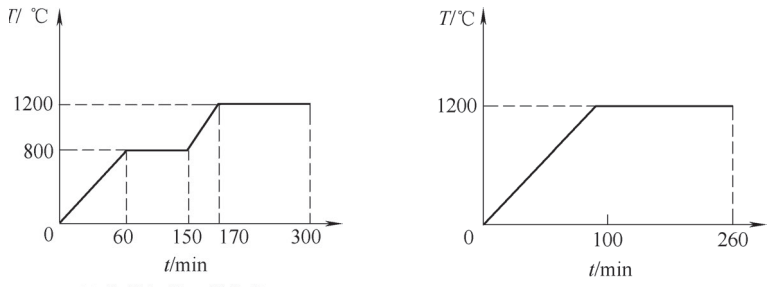
在锻造时没有出现裂纹，折叠等锻造缺陷，锻件完全充满模具型腔，锻件力学性能具体试验结果如表2所示。

根据表2数据可知，一次加热和两次加热后的锻件性能相差不大：分段加热后，锻件的塑性要强于连续加热，强度稍微比连续加热低。

3. 微观分析

对所得试样进行显微金相组织分析，结果如图2所示。

由图2可知，两组试样的显微组织都是马氏体+铁素体，其



(a) 分段加热工艺曲线　　(b) 连续加热工艺曲线

图1　加热工艺曲线

表1　410不锈钢的化学成分(质量分数)　　(%)

材料	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
标准要求	0.08~0.15	≤1.00	≤1.00	11.50~13.50	≤0.60	≤0.30	≤0.025	≤0.025
实际成分	0.14	1.00	1.00	13.4	0.50	0．30	0.018	0.021

中1号和2号试样（分段加热）组织中铁素体稍微小一点，而在3号和4号试样（连续加热）组织中铁素体稍微大一点，但两者没有太明显的差别。

这是因为虽然410不锈钢在700～800℃以下的导热系数较小，若是将坯料直接投入高温炉中，由于导热性差，使得坯料内部和外层容易形成较大的温差，从而产生较大的热应力使坯料产生微裂纹，在锻造过程中，微裂纹扩展形成裂纹缺陷。但是冷炉装料时，由于炉温和料温较低，两者差距不大，加热的速率较小的情况下，坯料表面和内部温差比较小，不会产生太大的温差，所以产生的热应力较小，在材料本身的承受范围内，不至于产生微裂纹，所以在后续锻造过程中产生裂纹的可能性很小。

4. 经济效益分析

对加热工艺进行分析，分段加热的情况是先缓慢加热60min到800℃，此时加热炉功率为额定功率50%，然后在800℃保温90min，加热炉运行功率为额定功率20%，然后快速20min到1200℃，此时加热炉的运行功率为额定功率，最后在1200℃保温140min，此时加热炉的运行功率为额定功率的25%，SHRX-320KW-13型箱式电阻炉的额定功率为320kW，据此可以算出加热一炉坯料的能耗

$$W=Pt$$

第一段加热时的能耗为：

$W_1=320\times0.5\times60/60=160$（kW·h）

第一段保温时的能耗为：

$W_2=320\times0.2\times90/60=96$（kW·h）

第二段加热时的能耗为：

$W_3=320\times20/60=107$（kW·h）

第二段保温时的能耗为：

$W_4=320\times0.25\times140/60=187$（kW·h）

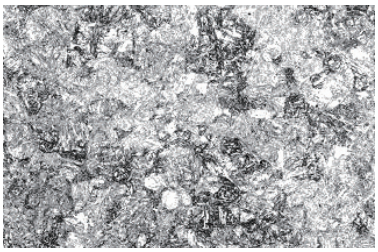
总能耗为：

$W=160+96+107+187=550$（kW·h）

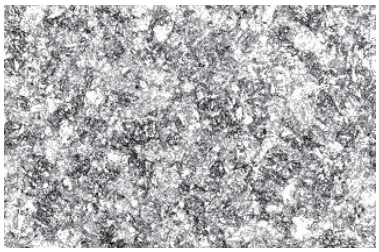
使用连续加热工艺时，先是在100min内将坯料加热到1200℃，此时的加热炉运行功率为额定功率60%，然后在1200℃保温160min，保温时的炉子运行功率为额定功率的25%，同理可以计算出，加热一炉坯料的能耗为

$W=320\times0.6\times100/60+320\times0.25\times160/60=405$（kW·h）

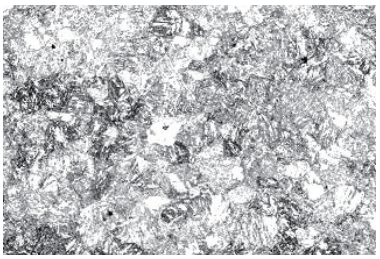
由此可见，使用连续加热，每炉坯料加热成本可降低145kW·h，即能耗降低26%，并且根据加热工艺可以很容易看出连续加热的总加热时间也能减少40min，相当于加热效率提高了13%。



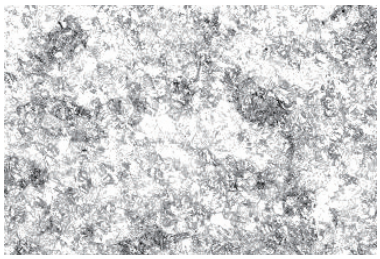
（a）1号试样（100×）



（b）2号试样（100×）



（c）3号试样（100×）



（d）4号试样（100×）

图 2

表2 室温力学性能试验结果

试验编号	抗拉强度/MPa	0.2%屈服强度/MPa	断后伸长率(%)	断面收缩率(%)	冲击吸收能量/J（-60℃）
1	1501	1193	10	32	16
2	1516	1228	13	36	14
3	1548	1146	10	30	16
4	1573	1261	9	29	18

5. 结语

（1）根据理论分析及试验证明，在冷炉装料的情况下，对于410不锈钢而言，分段加热和连续加热的效果相近，都可以使用。

（2）在实际生产中，连续加热相对于分段加热而言，能耗降低了26%，生产效率提高了13%，对于企业的降本提效有很大作用，极大促进了企业的精益生产工作。

作者简介：周云、游和清、侯磊，南车戚墅堰机车车辆工艺研究所锻压事业部。

MW 20151210