细长杆件的感应穿透加热淬火和自动矫直生产线

孙清汝，侯奎，邹磊，王锡樵

长期以来对于长径比相差很大的小型杆件的热处理，根据企业的设备状况分别采用盐浴炉、井式炉、箱式多用炉、感应加热、真空炉、连续式网带炉或回转式电加热夹持淬火专用炉等，它们生产出来的产品往往因淬火畸变较大，需要对产品进行矫直或放大留磨量，而回转式电加热淬火专用炉故障较多，维护麻烦，造成产品质量不稳定。

笔者对国内外锭杆热处理的工艺进行了分析研究，认为都有其特点和不足，为了进一步提高锭杆热处理的内在质量，从2013年6月份起对锭杆进行整体感应穿透加热及自动淬火和矫直的工艺方案试验，直到2015年4月份基本结束，并取得了锭杆淬火畸变的径向圆跳动量≤0.15mm、合格率≥90%的好效果。

锭杆是环锭纺纱机上的一个非常重要的零件之一，其热处理要求表面和心部的整体硬度均匀一致，如图1、图2和图3所示。在运转时锭杆承载着纱管和纱的质量分别为100g和400g，有的质量还要重一些，锭杆的转速为5000～22000r/min(电锭除外)，这些载荷分别由锭底、锭尖和纺锭轴承来承担，整套锭子在高速运转时的振幅要求≤0.01mm。因此，热处理完工后要做弹性试验的抽查，用它来检测振幅好坏的手段，其方法如图4所示，它是将*A*、*B*两个位置固定，在尾部*C*的位置施加力*F*，使锭杆上锥部的尾端弯曲到*H*位置，即全长的1/20，保持1min后卸载，然

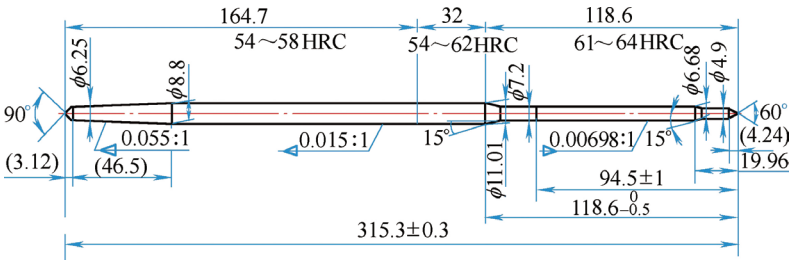


图1 D7103锭杆的热处理技术要求

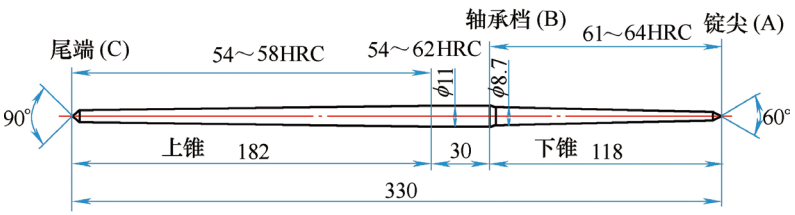


图2 D3203锭杆的热处理技术要求

后测量锭杆的径向圆跳动量要求≤0.01mm。对锭杆的原始组织及热处理后的技术要求必须分别达到JB/T1255－2014中规定细小均匀分布的2～3级球状珠光体组织，网状碳化物应≤2级，表面不允许有脱碳层，硬度在179～207HBW。淬回火后的金相组织必须达到2～3级隐晶、细小结晶状马氏体、均匀分布的细小残留碳化物和少量的残留奥氏体组成，不允许有脱碳现象和托氏体组织出现。

1.国内外锭杆的热处理现状

到目前为止全国锭杆淬火有用盐浴炉和20世纪70年代末上海纺机专件厂设计制造的卧式圆（方）型电阻式加热炉配备仿形夹持淬火并矫直的两种方式。盐浴炉淬火的产量虽然很高，但锭杆淬火后畸变太大，操作及矫直工作量很大，锭杆的残余应力较大，在淬火操作不好的情况下，由于残盐挂在锭杆表面而淬油时会出现逆硬化现象，还因环境污染严重而受到限制。电阻加热炉配仿形夹持淬火技术，通过40余年的生产实践证明，其夹持淬火技术是很成功的，淬火畸变量基本能够达到技术要求，只是送料出料机构及加热炉时而会出现故障，需要有丰富操作经验的人员才能掌握。

国外仍然是连续式感应加热，如图5所示，锭杆的加热是连续通过方式，即在卧式淬火机床上由推料杆将锭杆送入双股椭圆形加热感应圈中进行加热，然后立即进入喷水圈中淬火，最后再进入连续通过式感应回火处理，其锭杆的热处理技术要求是全长整体全部淬硬≥62HRC，并没有上锥硬度需达到54～58HRC的要求。其淬火畸变仍然较大，需要配置一台龙门式自动矫直机来完成，但仍然做不到100%的锭杆畸变量≤0.15mm的要求，还需要用人工进行补矫，且全套设备费用较贵。

2. 纺机锭杆（GCr15）热处理新工艺

（1）锭杆的加热方式　在采用一次感应穿透加热技术时，因GCr15轴承钢的原始组织要求在2～3级，是由细小、均匀分布的球状珠光体组成，能适应快速高温的感应加热工艺，当一次感应穿透加热时的加热速度越快，铁素体—渗碳体组织转变为奥氏体的温度就越高，即珠光体转变为奥氏体的温度范围也就越高，而形成的时间就越短，晶粒就越细，对于锭杆来说是非常有利的，可提高锭杆的耐磨性和强韧性。

对于锭杆来说，采用一次感应穿透加热是有很大难度的，因为锭杆的外形为不同锥度的细长形杆件，其两个端头分别为60°和90°的锥形，其硬度和金相组织必须达到技术要求，特别是

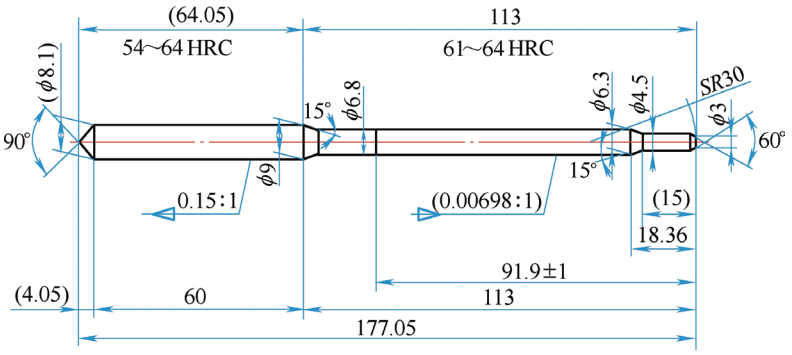


图3　D6110E锭杆的热处理技术要求

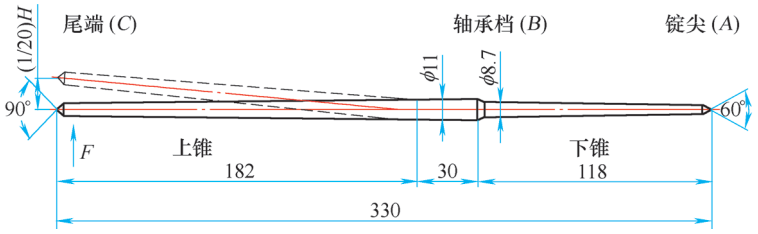
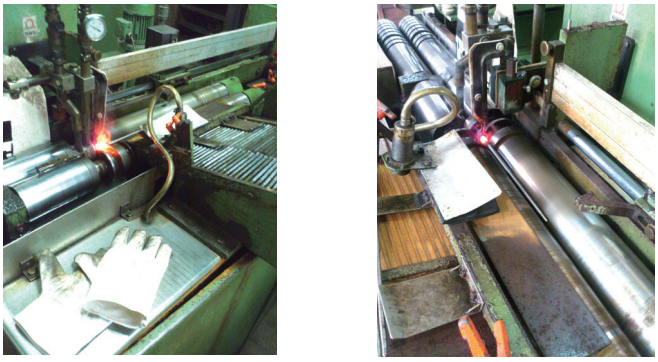


图4　锭杆的弹性试验



(a)　　(b)

图5　国外锭杆的加热淬火方式

60°下锭尖的淬火硬度必须保证≥62HRC，这就需要设计一个特殊形状的感应器，且每种规格的锭杆需要配备相应的感应器，对于尺寸相近的锭杆基本可以借用，为了与卧式淬火机床相配合，感应器和锭杆也必须卧式摆放，要使整根不同锥度外形的锭杆能够加热均匀，又不能使两个锭尖在加热时出现欠热或过热组织，这就需要感应器的形状与锭杆的外形基本上相近，所以感应器要做成轴类纵向加热感应方式，即可以调整纵向长度的一发法式感应器，整根锭杆还必须能够旋转，旋转的方式是靠两个V形顶尖通过变频电动机带动，使其旋转速度在60～70r/min，电加热功率为100kW，频率20kHz，根据产品技术要求调整相应的参数，在加热时温度的控制通过电流比率来达到，透入深度根据磁导率比电阻的大小来调整，在保证加热穿透的前提下，其加热温度为880～920℃，加热时间为10～12s/根，每台设备每月产量可以达到15万～18万件。整个生产线如图6所示。其操作程序是：操作者将锭杆摆放在步进式进料装置上，并自动送入U形槽中，由提升机构将锭杆提升到双V形顶尖位置，然后双V形顶尖夹紧，由丝杠导轨和伺服电动机组成的传输装置将锭杆转移到感应器下面进行旋转感应穿透加热，然后由丝杠模组快速下降并将锭杆送入五工位淬火矫直机中的第一个工位中进行边淬火边矫直。

（2）卧式自动淬火矫直机床　它是由五个工位的自动夹持淬火矫直机和淬火油槽及提升机构组成，这五个工位在工作时全部做圆周旋转运动，根据节拍做间隙性的旋转运转，每个工位由一组3个仿锭杆外形的滚动轧辊组合而成，五工位卧式自动滚动夹持淬火矫直机床的结构如图7所示。

当锭杆进入轧辊后其上轧辊做浮动压力旋转，轧辊上装有若干个（9个）仿形圆片，它们是活络的，并由压缩弹簧来控制压力大小，即调整锭杆的径向圆跳动量的大小，也就是矫直效果的好坏。下面两个轧辊为固定支撑的旋转辊，每个轧辊上也有若干个（9个）仿形圆片和轧辊轴组成一体，该仿形圆片是固定不能调整的，它们的外形同锭杆外形相吻合，仿形圆片的每节外形尺寸和相应的锭杆外形尺寸相吻合，3个轧辊上的各个多节仿形圆片相互交叉成整根锭杆的外形和长度。这些轧辊始终在不停地旋转，当第一个工位中进入锭杆时，上浮动压辊压牢锭杆并和下面两个固定旋转的轧辊一起迅速旋转入淬火油槽内，到了第二、第三、第四个工位位置时仍在进行边淬火边矫直，进行相变超塑变处理，当到达第五个工位时，上浮动压力辊松开，锭杆滚落到输送带提升机构中，此时第五个工位继续往上旋转复位到第一工位的位置，这样循环不断地运转进行生产，5个工位中有4个工位在进行滚动夹持淬火，仅第五个工位在迅速卸放锭杆后是空位的。

锭杆在机械旋转力的作用下，使之达到边淬火边矫直的目的，矫直后锭杆的径向圆跳动量≤0.15mm的比率能够达到≥90%的好效果。这个边淬火边矫直的过程实质就是在进行相变超塑变处理，对于具有均匀、细小分布的球状碳化物的GCr15高碳铬轴承钢制作的锭杆来说，在一次感应穿透加热时，能迅速达到奥氏体化的相变温度，它不需要进行保温，这样可以保持晶粒不长大，此时的晶粒是细小、均匀、等轴状的，在机械力的作用下，具有一定的弹性。锭杆的夹持滚动淬火是一种在奥氏体化的淬火温度逐渐下降到马氏体转变点连续冷却转变过程中的形变热处理，属于连续形变淬火。它可以细化碳化物，因为碳化物只能在晶界和缺陷处形核，形核位置的先后顺序应该是：铁素体→

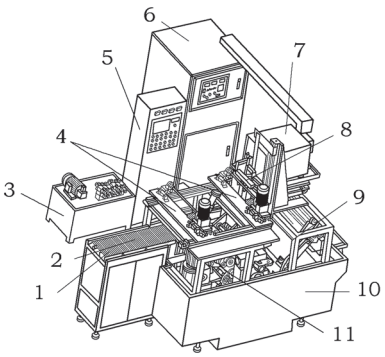


图6　锭杆的感应穿透加热和自动淬火矫直机床

1. 锭杆　2. 步进式上料装置　3. 液压站
4. 传动装置　5. 控制柜　6. 电气箱
7. 淬火变压器　8. 感应器　9. 提升机构
10. 淬火油槽　11. 五工位淬火矫直机

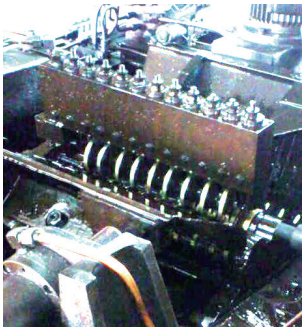


图7　五工位卧式自动淬火矫直机床

奥氏体相界→晶界→小角度晶界接点→小角度晶界→个别位错。奥氏体的变形，特别是在析出碳化物的温度范围内变形，且变形度达到一定程度时，会在奥氏体晶粒内造成大量的小角度晶界和位错，因而碳化物的形核不仅在晶界上，而且在晶界内也会大量产生，所以生成的碳化物是呈细小、均匀、弥散地分布，断口呈现韧窝状，起到了牵制锭杆畸变的作用，从而保证锭杆得到较小的畸变，使淬火硬度均匀，淬火应力很小，没有断损现象，可减少很多留磨量，从而提高了锭杆热处理的内在质量和产量。

（3）淬火冷却介质的选择　对于用GCr15高碳铬轴承做的锭杆而言，因为感应穿透加热可以将锭杆的心部也淬硬，所以需要有一种理想的淬火冷却介质，特别是五工位卧式淬火机床，其功能决定只能用油剂做淬火冷却介质。在众多的淬火冷却介质中，应该根据工件和设备的特性选择绿色环保的，闪点和燃点较高，冷却能力强，高温冷速快，低温冷速较慢，既能将锭杆表面淬硬又能将锭杆心部也淬硬，还能较好地控制淬火畸变能力。锭杆淬火后易清洗，使用维护方便，热氧化安定性好，使用寿命长等特点，为此选择KR048G专用淬火油用于锭杆的淬火，该油的使用寿命可以达到8年以上。

（4）锭杆的冷处理　为确保锭杆的耐磨性和尺寸稳定性，长期以来在锭杆淬火后一直使用-80℃的冷处理工序，最后进行局部降低上锥硬度和整体去应力回火处理。冷处理的目的是控制一定数量的残留奥氏体。从测量结果看经冷处理的锭杆的残留奥氏量比没有经冷处理的残留奥氏体少，经过冷处理的锭杆在锭尖处的残留奥氏体量为9.85%，而没有经过冷处理的锭杆在锭尖处的残留奥氏含量为11.85%。残留奥体少可以提高锭尖的耐磨性，延长锭子的使用寿命，从生产实践中也反映了经过冷处理的锭杆其使用寿命较高。现在冷处理的设备是用液氮为原料来制冷，比以前用高压力的压缩空气制冷或用F12和F22氟利昂制冷的效果好，且冷处理的工艺及设备很稳定，维护也很方便。

3. 锭杆的热处理质量

考核锭杆的质量是淬火畸变、硬度、弹性试验和金相组织。通过一次感应穿透加热并夹持自动淬火矫直的小批量试验得到很理想的结果。其淬火后径向圆跳动量≤0.15mm，合格率≥90%，超差部分径向圆跳动量≤0.30mm，经人工轻轻一敲就矫过来了，减少了锭杆的残余应力，使之达到稳定水平，节省了大批量的人工或机械矫直的生产成本。因每根锭杆的硬度必须整体全部淬硬，特别是两头60°和90°锭尖处的淬火硬度必须达到62HRC以上，为此用线切割从60°锭尖处纵向切开，测量其心部硬度（见图8），从锭尖处每隔0.5mm往心部检测显微硬度，每个测量点间距0.5mm，其测试的数据全部达到技术要求。另外，在进口的专用金相维氏硬度计上直接检测锭尖处的表面硬度也全部合格，如图9所示。在洛氏硬度计上分别测量锭杆粗细不同位置的心部和表面硬度也全部达到技术要求。做弹性试验和金相组织的检测也全部达到了技术要求。

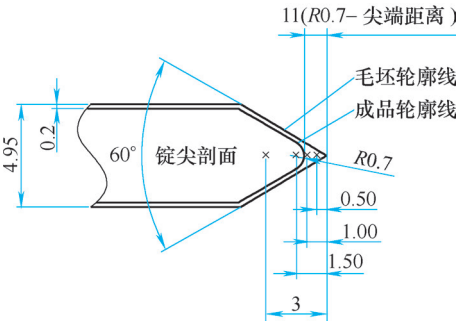


图8　测量锭尖心部硬度的纵向剖面

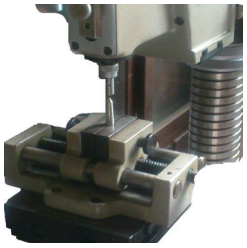


图9　锭尖硬度检测

4. 结语

利用一次感应穿透加热替代回转式电阻炉或通过式感应加热是一个很理想的工艺手段，配置卧式自动淬火矫直机床解决了淬火和矫直难题，这种配置是当前最理想的工艺及装备，它改变了几十年来国内外锭杆热处理中的不足，提高了锭杆热处理的内在质量，减小了残余应力，稳定了锭杆的尺寸精度，使成套锭子的质量得到进一步的提高，从而进一步提高了纺纱的质量。这个方法对其他形貌的细长杆件的热处理同样具有借鉴的依据。

作者简介：孙清汝，南京科润工业介质股份有限公司，主要从事金属热处理工艺与淬火冷却介质工作。

通讯作者：王锡樵，高级工程师。

MW 20151102