

# 长材产品感应调质技术

西马克艾洛特姆公司 Guido Opezzo

感应加热技术在多年以前就开始被用于长材型钢材的调质处理中,但仅限于一些特殊场合,如平衡杆的加工,其要求沿着材料方向的硬度和微观结构,在整个加工过程必须保持非常一致(如平衡杆的冷弯),而通过传统设备(即燃烧技术)是无法达到的。之后,汽车和建筑工业对于这样一个“快速”的感应技术最初的不信任感逐渐消失。到今天,大部分直径最大可达160mm的实心棒材的调质加工新设备都会采用感应加热技术。

棒材感应热处理的良好局面在最近几年中也发生在对管材的处理上,如无缝管和电阻焊管,并且趋势更快,这可能是由于其主要应用领域的旺盛需求:石油和天然气的开采。

典型的感应调质生产线,能够达到的产能范围为4~15t/h,甚至更大,通常由以下几部分组成:

①一个整理/上料台,对长材捆进行整理,将单根管/棒送入接下来的辊道。②一套由有几个“特殊设计”的辊道组成的单根处理管材/棒材系统,并贯穿整个热处理过程。③一套感应变频器(通常采用晶体管IGBT技术)作为电源,在正确的频率下,用于奥氏体化,回火和保温区域。④若干套感应器组,每套均由几个单个的加热线圈组成,管材/棒材通过其中,进行奥氏体化和回火工艺过程中的加热。⑤一个淬冷工位,主要组件是经“特殊设计”的喷淋头,对奥氏体化后的材料进行喷淋。⑥一个冷却台后接收集搁架,用于在空气中冷却从回火区域出来的材料,并将其收集成捆。

## 一、感应加热用于调质处理的优势

感应调质技术用于长材的调质处理有诸多显著

优点,主要如下。

### 1. 非常高的柔性

高柔性是感应调质技术最突出的优点,也是其在该领域内获得重大成功的主要原因之一。因此,今后其有可能替代大部分的传统(即燃烧技术)热处理设备。通常对一个热处理工厂来说,典型的管/棒材的批次量在30~50t,这就意味着每天有不同批次的产品要被热处理,批量之间的尺寸和质量要求(不同热处理温度)各有不同。

感应加热调质技术,用于单线加工管材/棒材,非常快捷和柔性化,在几分钟内就可以将整线清空并调整好用于下一批次材料的加工,停机时间最短。

### 2. 所有尺寸的管/棒材能获得同样的加工效率

这意味着,一条感应调质线,假设其最大生产效率为13t/h,加工外径为76.2~228.6mm,对于尺寸在两者之间的管材,生产效率都能达到13t/h。

这是由于感应热处理线将加热能量直接注入被加工材料,同时根据加工材料尺寸大小的不同,其在感应器组内通过的速度会有快慢不同。这是个非常特殊的优点,意味着感应调质线的最终用户可以最大程度地利用设备,无论被加工材料的尺寸如何变化,其生产线始终能运行在最大产能状态。

### 3. 极高的硬度一致性和微观结构均匀性

通过感应调质线加工的产品具有很好的均匀性。事实上,在材料长度方向和截面上获得的硬度变化在 $\pm 1\text{HRC}$ 之内,甚至更好。

微观结构同样如此。从图1中可以观察到极好的微观结构质量。当然,这些极佳和非常均匀的结

果应归功于感应加热技术原理本身，同时也依赖于精准设计和精确制造的专门设备。

事实上，感应调质线在一条线上完成了对产品的整个加工过程（奥氏体化加热→淬冷→回火加热）。因此，每件产品的横截面能像所有在其上游或下游加工的产品的横截面一样，获得同样多的加热能量和淬冷效果。产品的所有截面以同样的速度通过同一加热和淬冷装置。

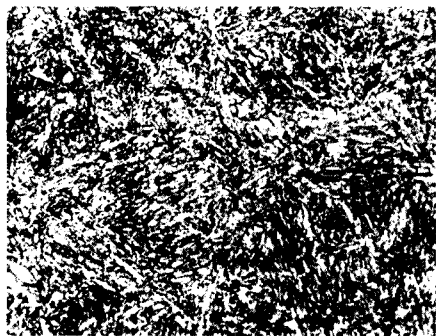


图1 感应调质后41Cr4棒材微观结构

#### 4. 极高的韧性和冲击韧度

众所周知，钢产品在回火加工中很容易产生的一个负面效果就是“回火脆性”。长时间加热钢管/棒时（因为这种情况通常会发生在传统的回火燃烧炉中），当温度在400~600℃时，会发生明显冲击韧度值下降，但有时候却没有任何的硬度或抗拉强度下降的迹象。这样的情况通常与沉淀和再结晶过程有关，主要是碳化物。通过调质获得的镍铬钢质量性能，最容易发生回火脆性，主要由于金属基体内部的变化，导致在晶粒边缘生长出针状的细微碳化物晶体。

上述的回火脆性在采用感应加热技术进行回火时却不会发生，由于感应加热的典型特性，400~600℃的临界温度很快就被超过。因此，用于制造离岸钻井平台的螺栓和连接杆，同样更适合通过感应加热技术进行调质。

#### 5. 热处理过程中不产生脱碳现象

当采用传统燃烧系统进行奥氏体化加热时，会产生典型的一个现象就是表面脱碳，这是由于材料在高温状态保持的时间太长。这种现象会弱化材料表面性能，使材料截面的硬度不一致。而采用感应热处理技术进行调质时不会产生脱碳现象，这是由于感应加热的典型特征是材料在高温状态维持的

时间很短。

图2是41Cr4冷拔坯料棒材，显示了棒材经过轧制后表面产生的脱碳现象，棒材表面滋生了铁素体晶体。图3是采用同样的放大倍率显示了同一棒材经过感应调质处理后的效果。结果表明，通过热处理后获得了回火马氏体，没有出现加重棒材表面原有脱碳现象的迹象。

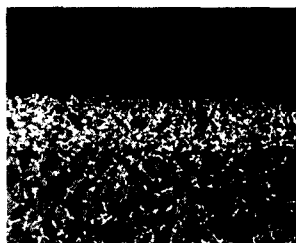


图2 41Cr4棒材坯料冷拔轧制后微观结构



图3 41Cr4棒材感应调质后的微观结构

#### 6. 非常便捷地设定符合客户需求的加工线状态

当需要将热处理设备调整到能够加工新的质量要求和尺寸的管/棒材时，如采用感应加热技术，整个过程是非常容易和相当快速的。如此简单和快速的过程表明，采用感应加热技术，试制性订单的成本能控制到最小。

#### 7. 调质后良好的直线度

采用感应热处理技术后，管/棒材在调质处理后能获得非常好的直线度，这归功于材料通过整个生产线的特殊处理方式，以及对材料进行加热和淬冷的方式。感应热处理后直线度达2mm/m或更好，通常优于坯料原来的直线度（见图4）。其最大优点是在感应热处理后不需要对管/线材进行矫直，这意味着不需花费高额成本购买重型矫直设备（能够矫直高强度的调质材料），也不需增加另外的工序来处理材料（矫直工序）。

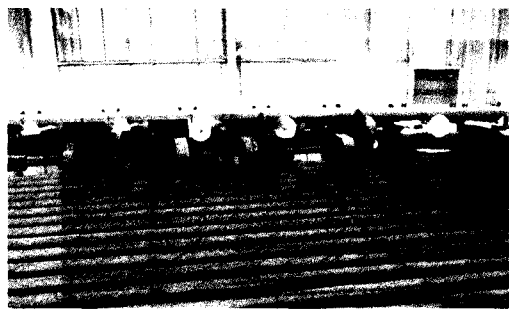


图4 感应调质处理后的厚壁无缝管

## 8. 能量损耗和相关费用只存在于有效生产

使用感应调质技术时，能量损耗和相关费用只直接与加工材料有关。事实上，感应加热单元只在有效生产时才开启，当生产结束时就立即关闭。而对传统设备则相反，在不进行生产时，为了保证燃烧腔体能维持在合适的温度，加热单元仍然保持开启状态。

此外，当改变加热参数时（根据不同的热处理要求增加和降低温度），燃烧单元需要运行很长时间才能实现相应的温度变化。在非加工时间内，虽然不存在能量损耗，但没有材料的产出仍然意味着费用的增加。

## 9. 很低的维护费用，不需长时间的停机保养

感应调质线维护费用很低，是因为以下特殊原因：所有机械件（水冷的）、所有的加热件（感应器组）及所有组件，在整个加工过程中都是冷的，因此不会产生因高温导致的机械应力压迫和设备损耗。因此，采用感应加热技术的生产线只需很少的维护费用和很短的停机保养时间。

# 二、管材感应调质工艺的最新动态

我公司针对某些特殊管材领域的发展和需求，开发了独特的、技术成熟的可靠解决方案，用于处理此类产品，端部加厚无缝管也同样适用。

## 1. 端部加厚油管

充分考虑到管体和加厚端重量的不同（根据API 5CT规范尺寸要求，加厚端的重量比平管部分重量最大可高出60%），正确奥氏体化/回火处理端部加厚油管的唯一可行方式，是在主奥氏体化加热炉和回火加热炉前增加一个预加热系统。

对这种特殊的奥氏体化/回火加热炉生产线，加厚端预热器采用特别设计的IGBT中频变频电源，并配以专门设计的多圈式加热线圈。通过精确的管材跟踪系统，加厚端的位置能被控制，并实现底—底对接。通过特殊的设计/制造/跟踪/控制，加厚端预热器将有选择性地端部通过时，根据加厚端/管体重量比，仅将加厚端加热至所需温度。

在加厚端预热器感应器末端，管材进入主奥氏体化/回火感应加热炉继续进行奥氏体化/回火工序。而主奥氏体化/回火感应加热炉，采用多个单

圈式感应器，将管材的不同部分均匀地加热到奥氏体化/回火温度。

该技术的亮点在于能够获得顶级的调质质量（无论加厚端还是主管体，都能确保同样的力学性能指标），管材在加工完成后同样能获得极好的直线度（见图5）。



图5 感应调质线加工后获得极佳直线度

## 2. 外加厚套管

在一些特别的油或气井应用中，套管必须设计成能够适应极端恶劣环境，即具有更高的强度和防漏能力。这些套管类产品，通常典型的外径为127~273.05mm，需进行端部加厚，并要适合调质处理。

我公司不仅在端部加厚油管（外径60.325~114.3mm）的应用中获得极大成功，且开发出适合对平头无缝套管进行调质处理的生产线，最大加工外径达406.4mm，另外也可用于外加厚套管产品。

在这类最前沿的应用中，除了相同于上述油管加工的结构部分外，还增加了专门的机械搬运系统和加厚端预热系统，以获得同样出色的最终力学性能（在加厚端及主管体）的均匀性和出众的直线度。

# 三、结语

汽车工业已显示出对长材采用感应调质工艺的偏好，目前包括如动力系统、悬挂系统、电机轴及安全设备（如门梁、气囊管）等。这当然应归功于上述的感应加热技术的各种优点。同样，建筑行业也显示了类似的偏好，主要包括机械、螺杆机部件、油水分离罐及起重机臂等。

迄今为止，我公司已在美国、欧洲、中东及远东地区安装了多条高品质管材感应调质生产线，大幅提升了热处理管材的品质标准，同时也引发了旺盛的市场需求。MW (20120404)