



无磁钢制模具的热处理

陕西金山电器集团有限公司 (兴平 712021)

王维军

中船重工集团公司十二所

(陕西兴平 713102)

马中伟 王 伟

恒磁材料(铁氧体、稀土恒磁)在压制过程中有一个重要的环节,即粉末料或浆料必须在具有一定取向的外加强磁场作用下进行毛坯件的压力压制,以保证所加工零件的良好磁性能。为实现这一性能要求,压制恒磁材料毛坯所用的模具要具备不导磁、不漏磁的特性;另外,在毛坯压制过程中,粉料或浆料硬度高($\geq 50\text{HRC}$),模具磨损严重,从而要求模具或模具表面具有高的硬度及耐磨性;同时,为保证毛坯件的精度和生产效率,模具还应具有良好的脱模性。

我们在生产恒磁(铁氧体、钕铁硼)毛坯时使用的主要模具材料为无磁硬质合金和无磁钢(7Mn15Cr2Al3WMoV2,以下简称7Mn15)。无磁硬质合金耐磨性能好,生产周期长,模具加工费用高,适合于长线产品;7Mn15无磁钢耐磨性能较低,模具制造周期短且价格低,适合制作产量不大、生产周期要求短的产品。7Mn15无磁钢使用范围较窄,其热处理和作为模具的加工工艺流程还不能被人们广泛地了解。

本文结合笔者现场多年的生产实际和经验,就在模具表面渗氮强化方面所做的工作进行简要的论述。

减少淬火后变形量的效果太差。为此,我们根据该零件导轨表面超音频淬火后呈中凹变形的规律,设法采用在淬火前将导轨表面加工呈中凸形,利用预变形量来补偿导轨表面超音频淬火后中凹变形量,从而达到减少导轨淬火变形的目的。经工艺试验验证,此方法是可行的,并取得了较好的效果。其具体做法如下:

当对导轨进行刨削加工时,在零件底部1101mm尺寸两端加一定高度的铜垫片,在零件中间加压板,并于刨削加工前先将压板压紧,使中拖板导轨产生中凹弹性变形,刨削加工完成后松开压板,使中拖板在弹力的作用下,导轨呈中凸变形。利用中凸预变形量来抵消导轨表面淬火时中凹变形量,从而实现对导轨淬火变形的补偿,达到减少导轨表面超音频淬火变形的目的,使中拖板导轨表面

1. 7Mn15 无磁钢的预热处理工艺

热处理工艺主要包括:高温退火工艺、固溶(软化)处理工艺、时效(硬化)处理工艺,分别见图1、图2、图3。

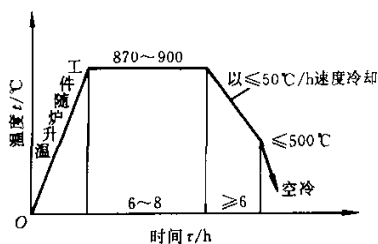


图1 高温退火工艺

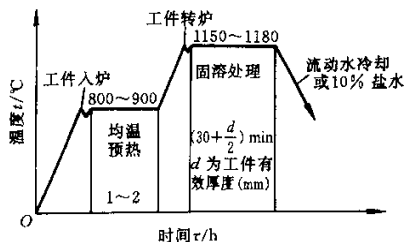


图2 固溶(软化)处理工艺

超音频淬火后的弯曲变形量控制在0.5mm左右。

在试验过程中,我们发现导轨淬火时,由于一条导轨的内侧面和上平面是同时淬火的。在淬A、B两条导轨时,如采用同一只感应器淬火,A、B两条导轨之间存在翘曲变形现象,翘曲变形量达到0.25mm左右。为了减少A、B导轨面之间的翘曲变形,我们又经过多次试验,通过改变A、B两条导轨的淬火移动方向,很好地解决了A、B导轨之间存在的翘曲变形问题。淬火前后导轨的变形情况见附表。

2. 结论

实践证明,在VMC4024加工中心机床零件中拖板导轨进行超音频淬火的过程中,通过采用冷加工预变形方法及改变淬火过程中工件的淬火移动方向,就可大大减少淬火后导轨面的变形,从而满足了工艺的要求。

(20030318)

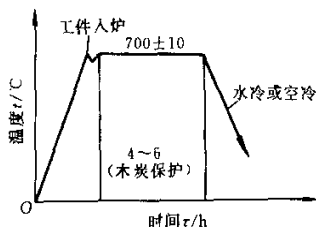


图3 时效（硬化）处理工艺

(1) 高温退火工艺 目的：改善机械加工性能，消除锻造应力；使用设备：箱式电炉；工艺说明：从退火温度至500℃的降温速度应控制，降温时间不得少于6h；检验：硬度28~32HRC。

(2) 固溶（软化）处理工艺 目的：使碳化物溶入基体，为时效（硬化）处理做组织准备，同时也有改善切削性能的作用，在生产中也叫软化处理；使用设备：箱式电炉（预热用）、高温盐浴炉（固溶用）或箱式高温电炉；工艺说明：在余量大于1.5~2mm（单边）时，允许采用高温箱式炉作为固溶加热，保温时间取1~2h，在温度取上限时，保温时间取下限，在温度取下限时，保温时间取上限，或按1min/mm计算保温时间，余量小于1.5mm（单边）者，只允许在高温盐浴中进行固溶加热，以防止氧化脱碳而影响防漏磁性能；检验：硬度157~264HBS，有利于机械加工。

(3) 时效（硬化）处理工艺 目的：为使溶于基体上的碳化物弥散析出沉积在基体上，从而强化基体，提高硬度和耐磨性，生产中也叫硬化处理；使用设备：箱式电炉；工艺说明：除采用到温入炉方式外，也允许木炭保护随炉升温 and 保温，冷却介质中水冷较空冷硬度较高；检验：硬度45~50HRC。

2. 采用7Mn15无磁钢材料制作模具的工艺流程

(1) 工艺流程 锻造→高温退火→粗加工→固溶（软化）处理→半精加工→时效（硬化）处理→精加工→渗氮。

(2) 工艺流程的分析说明 7Mn15材料热处理特性表明：此种材料是通过二次硬化方式来提高硬度；另外这种材料本身机加工时粘性较大，易在刀尖处形成切削瘤，造成刀具极易磨损，所以在加工这种材料时，根据我们长期生产实践，“粗加工”仅去除外形和中心孔大余量，在“固溶（软化）处

理”后机械加工性能可有效提高，再加上适当的冷却液，有利于“半精加工”中尺寸的保证，另外也有利于小孔的钻加工和螺纹加工。时效（硬化）处理后的精加工是最后一道机械加工工序，即磨加工和钳工研磨。对于要渗氮的模具则要进行相应的尺寸调整，渗氮是为了进一步提高模具表面硬度、耐磨性及其使用寿命，提高毛坯的可脱模性、毛坯质量及生产效率。

3. 7Mn15无磁钢制模具的渗氮

(1) 试验用材 试验使用材料的化学成分如表1所示。

表1 试验使用材料的化学成分（质量分数）（%）

C	Mn	Cr	Al	W	Mo	V	Si	S	P
0.69	15.2	2.33	2.94	0.61	0.75	1.87	0.62	0.01	0.002

注：材料状态为固溶+时效，硬度为48HRC。

(2) 试验方法 试验采用8mm×15mm×30mm试样，分别进行离子渗氮和气体氮碳共渗，其工艺如图4、图5所示。

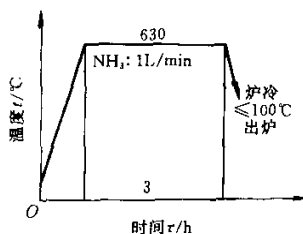


图4 离子渗氮工艺

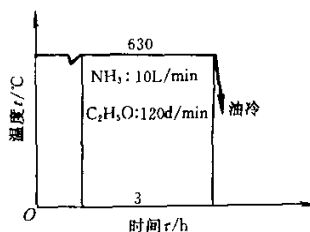


图5 气体氮碳共渗工艺

试验分别在LD50离子渗氮炉、RN35气体氮碳共渗炉中进行。用硬度梯度法检测渗层深度。

在试验的基础上，采用上述两种工艺各用5套模具进行生产试验，然后验证其脱模性及使用寿命。

(3) 结果及分析 离子渗氮、气体氮碳共渗渗层硬度分布如图6所示。离子、气体渗氮表面硬度



分别为 1130HV_{0.3}、1180HV_{0.3}，总层深分别为 0.21mm、0.15mm。离子渗氮的硬度沿层深分布较气体氮碳共渗的要平缓。其主要原因是离子渗氮时，辉光溅射能在很短时间内将试样或零件表面的氧化膜、异物清理干净，并依靠吸附、凝附、高能离子直接注入，使样件表层氮浓度很快达到过饱和状态，加快了氮的扩散进程，即在相同时间内纯氮离子渗氮向渗层提供的氮含量要高。

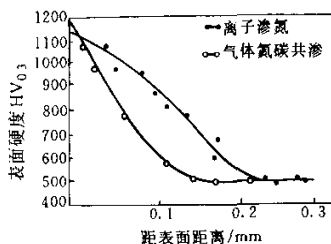


图6 渗氮层硬度分布

两种渗氮工艺的基体硬度均为 490HV_{0.3}。

我们分别对两种工艺处理的 10 套模具进行了尺寸测量，凸模外形膨胀，凹模内腔收缩，膨胀、收缩范围在 0.01~0.02mm 内。离子渗氮的胀、缩量稍大一些。由于渗氮前将模具的尺寸进行了调整，渗氮后的模具尺寸都在最终要求的精度范围内。

另外我们对试样及模具的磁性进行了检测，结果表明渗氮后所有样件均无磁性，从而有效地保证了产品零件对模具有关磁性的要求。

接着我们又对所处理的模具进行了压制零件试验，模具寿命、失效形式与工艺方法的关系如表 2 所示。表中的数据是 5 件模具压制毛坯件的平均数。

表 2 工艺方法与模具寿命对照表

工艺	压制件数/个	失效形式
固溶+时效态	20535	表面严重拉毛、棱角已成圆弧
气体氮碳共渗	65897	表面拉毛、外形保持完好
离子渗氮	46843	表层脱落

从表中可以看出，固溶+时效态，模具本身硬度与粉末硬度大致一样，往往在压制几百到几千件毛坯时便出现拉毛现象，需停机修模。表中所压制的件数是经过反复修模直到模具尺寸超差为止累加起来的数据。

两种渗氮工艺处理的模具较固溶+时效态的寿

命分别提高 3.2 倍和 2.3 倍。7Mn15 无磁钢含有较多数量的诸如 Cr、Al、V、W、Mo 等合金元素，这些元素易与氮形成硬度很高的 Cr₂N、CrN、AlN、VN 等氮化物，使模具表面具有很高的硬度及耐磨性，从而大幅度地提高了模具的使用寿命。

模具经两种渗氮工艺处理后，由于硬度的提高及摩擦系数的减少，压制的毛坯件光亮，易于脱膜，从而提高了毛坯件的质量和生产效率。

离子渗氮的模具在压制一定数量的毛坯件后均存在着不同程度的渗氮层剥落现象。有资料报导：渗层氮浓度过高是造成渗层剥落的最主要原因。本文中的无磁钢，在纯氮离子渗氮中，其渗层氮含量相对较高，形成大量除铁的氮化物以外的其他合金氮化物相。其中之一的 Cr₂N 的形成，会造成相对基体奥氏体 70% 的膨胀量，再加之其他相的生成使渗氮层产生非常大的内应力，这种应力随氮浓度的增加而大幅度提高。在压制过程中，处于介稳状态的渗氮层遭受粉粒强烈的拉、压力的作用，相叠加的内应力和外来力反复作用于渗氮层，在渗层中较薄弱的晶界上首先产生微裂纹并沿晶界扩展，最终导致渗氮层沿晶界脆性剥落，使模具失效。

非纯氮离子渗氮（如氮氢、氮氩、氮氨等）及离子氮碳氧稀土共渗都能有效降低渗氮层的氮含量，可以保证这种无磁钢的渗氮层质量。但与气体氮碳共渗相比，离子渗氮存在周期长（因为需炉冷）、炉内温差较大等缺陷，不利于批量模具的热处理，所以我们最终选用气体氮碳共渗进行模具的表面强化。

通过试验及几次小批量生产之后，目前我们采用气体氮碳共渗工艺已处理了上百套模具。模具寿命稳定，压制的毛坯脱模性好且表面光滑，保证了产品质量和生产效率，创造了显著的经济效益。

4. 结语

(1) 正确采用 7Mn15 无磁钢的热处理工艺和在模具加工中的工艺流程，有利于模具的加工和正常使用。

(2) 气体氮碳共渗较大幅度地提高了 7Mn15 无磁钢制模具的表面硬度、耐磨性、使用寿命。用其压制的毛坯件表面光亮、易于脱膜，提高了毛坯件的质量和生产效率。

(3) 渗氮不改变 7Mn15 钢的不导磁性。

(20030218)