

铁基形状记忆合金防松螺母重复使用性能研究

沈英明¹, 聂国权², 李俊良², 杜彦良³

(1. 石家庄铁道学院科技处, 河北石家庄 050043; 2. 石家庄铁道学院教务处, 河北石家庄 050043; 3. 石家庄铁道学院结构所, 河北石家庄 050043)

摘要: 为了降低铁基形状记忆合金防松螺母的使用成本, 探索了该新型螺母重复使用的可行性。使用 M10 螺母进行试验测试, 螺母在不同回复退火温度间隔条件下的自锁摩擦力矩均有所增大, 温度低于 573 K 时, 自锁摩擦力矩增加量均小于 25%, 当回复退火温度间隔为 50 K 时, 自锁摩擦力矩增加量有 4 次在 25% 以上, 该新型螺母重复使用性能较好。

关键词: 铁基形状记忆合金; 防松螺母; 重复使用; 自锁摩擦力矩; 回复退火

中图分类号: TG136.9 文献标识码: A

Research on repetitive use of Fe-based shape memory alloy lock nut

SHEN Ying-ming¹, NIE Guo-quan², LI Jun-liang², DU Yan-liang³

(1. Office of Scientific Research, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang Hebei 050043, China; 2. Dean's Office, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang Hebei 050043, China; 3. Structural Health Monitoring and Control Institute, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang Hebei 050043, China)

Abstract: The feasibility of repetitive use of Fe-based shape memory alloy lock nut has been studied in order to lower the usage cost. Based on experimental test with M10 lock nut, it shows that the self-locking friction moments all increase at different recovery annealing temperature's intervals. When annealing temperature is below 573 K, the increment of the self-locking friction moments is less than 25%. When interval temperature is 50 K, the increment of the self-locking friction moments is above 25% for four times, and the lock nut has good use repeatability.

Key words: Fe-based SMA; lock nut; repetitive use; self-locking friction moment; recovery annealing

螺纹连接是现代结构和机械设备常用的连接方式之一。一般螺纹连接都具有自锁性,但在受到变载、振动、冲击作用或温度变化较大时,螺纹连接易出现松动,导致预紧力下降。螺纹连接的使用实践及防松性能试验、疲劳强度试验证明:松动失效是承受交变载荷作用下螺纹连接的主要失效形式之一。松动将引起连接预紧力减小甚至丧失,从而降低螺纹连接的质量,造成连接各零件过早的损坏,甚至引发设备故障和人身事故。近年来,国内外科技工作者在螺纹连接防松方面进行了大量的研究,并提出一些防松技术和措施^[1,2],取得了一定成效,但还没有从根本上解决螺纹连接的松动问题。笔者在前期研究工作中,利用新型功能材料——铁基形状记忆合金研制了一种新型防松螺母。试验测试表明该新型螺母具有良好的防松性能^[3,4]。

铁基形状记忆合金由于相变点高、热滞大,适用于制作管接头、夹具、安全装置等一次性使用的元件^[5]。如果铁基形状记忆合金防松螺母只能一次性使用,成本将大大增加。所以,实现铁基形状记忆合金防松螺母

的重复使用已成为开发该新型螺母的一个技术关键。笔者通过测试铁基形状记忆合金螺母螺纹连接的自锁摩擦力矩,探讨铁基形状记忆合金防松螺母重复使用的可行性。

1 铁基形状记忆合金螺母防松原理

各种外来因素(如横向载荷、轴向载荷、初始变形、温度变化引起的载荷)的作用都可能使自锁摩擦力矩下降到临界值,从而导致螺纹连接出现松动。螺纹连接松动的主要原因是:螺纹连接在配合的螺纹牙之间存在一定啮合间隙,在受到横向载荷(振动、冲击和荷载)作用时,螺母与螺栓之间能产生不同频率的振动,使得螺旋副的摩擦力矩急剧下降,瞬时减小到 0,破坏螺旋副自锁条件,导致螺母自动回转松动^[2]。因此,螺纹牙间啮合间隙是导致螺母松动的根本原因,而啮合间隙的大小,是由螺栓与螺母的标准公差带(取决于制造精度)所决定的。制造精度越高,啮合间隙就越小,但螺栓和螺母的加工成本就会越高。因此,在不增加加工成本的前提下,提高螺栓和螺母的加工精度,最大程度地减小螺纹牙间的啮合间隙,甚至产生过盈配合,是解决螺纹连接松动的关键所在。铁基形状记忆合金具有形状记忆效应,源于应力诱发 γ/ϵ 相变及其逆相变,即在某一特定温度下对合金进行处理并产生一定的变形,使其发生应力诱发马氏体相变,然后加热到 A_r (马氏体逆相变结束温度点)以上温度,使其发生逆相变,变形回复,如果变形在回复过程中受到约束作用,将会产生回复力。因此,可将铁基形状记忆合金螺母内螺纹加工成略小于螺栓外螺纹的尺寸,然后扩孔变形至标准螺母内螺纹尺寸,按规定力矩拧紧后,对螺母加热。螺母首先发生自由回复,消除了径向间隙,然后因为受到螺栓的约束作用,会产生径向回复力(见图 1)。该径向回复力转化为螺旋副间的自锁摩擦力矩。螺母在拧紧过程中,螺纹牙由于受到弯曲应力作用也能发生应力诱发马氏体相变,随后进行的螺母回复退火过程中,会产生轴向回复力 F (见图 1)。该轴向回复力转化为螺旋副间的自锁摩擦力矩。力矩和力矩能大大地增加螺旋副间自锁摩擦力矩,防止螺旋副相对转动,达到防松目的。另外,螺母的径向自由回复能消除螺纹牙间啮合间隙,可有效地防止螺母与螺栓在受到动载荷作用时产生不同频率振动,避免螺旋副间自锁摩擦力矩急剧下降而引起松动^[3,4]。

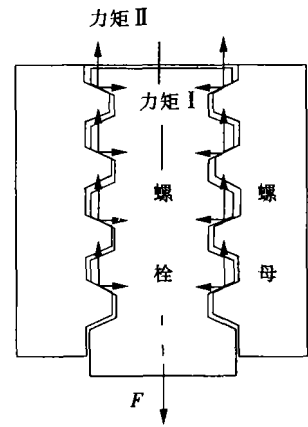


图 1 螺纹牙回复力示意图
Fig. 1 Recovery stress of threads on the nut

2 材料及试验方法

2.1 试件制备

试件所采用的合金用工业纯铁、硅、铬、锰和电解镍为原料,在真空感应炉内熔炼,铸锭经 $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 h 均匀化退火, $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热锻成 $\Phi 30\text{ mm}$ 圆棒。合金化学成分: $w(\text{Mn})$ 为 30.0%; $w(\text{Si})$ 为 6.0%; $w(\text{Cr})$ 为 4.0%; $w(\text{Ni})$ 为 4.0%; $w(\text{C}) < 0.02\%$, 其余为 Fe; 合成材料的 A_s 为 300 K, A_r 为 520 K。试件制备过程如下:把棒料在数控机床上线切割成坯料,在 1223 K 下保温 1 h 后水淬,以得到均匀的奥氏体并消除加工应力,然后在室温下进行扩孔变形 5% 后攻丝成为标准的 M10 螺母,为了防止试件受热发生逆相变,在扩孔和攻丝过程中需加冷却液。

2.2 试验方法

将螺母分为 3 组,用预紧力矩 T 预紧后,对第 1 组进行间隔退火温度为 50 K(即 523 K, 573 K, ..., 773 K)的回复退火,对第 2 组、第 3 组分别进行间隔退火温度为 100 K(即 523 K, 623 K, 723 K)和 150 K(即 473 K, 623 K, 773 K)的回复退火。在每一温度下退火后,测试其松动力矩 T_1 ,然后用相同力矩 T 重新预紧,再对螺母进行回复退火,重复上述过程,完成所有测试点的力矩试验测试。因为普通螺母螺纹连接松动力矩 T_1 是预紧力矩 T 的 0.8 倍,所以铁基形状记忆合金螺母自锁摩擦力矩的增加量(按百分比计算)为 $\eta = (T_1 - 0.8T) / 0.8T \times 100\%$ 。

3 结果与讨论

图 2 为回复退火温度对自锁摩擦力矩增量的影响,可以看出,每一次回复退火均能在一定程度上增加螺纹连接的自锁摩擦力矩。在第 1 次回复退火后,由于部分回复是自由回复,作用于消除螺纹牙之间间隙,所以螺纹连接自锁摩擦力矩的增加量很小,但螺纹牙之间间隙的消除,能防止螺母与螺栓在受到动载荷作用时产生不同频率振动,所以也能起到防松作用。在每次回复退火测试其松动力矩后,由回复退火产生的自锁摩擦力矩因为松动不复存在,当再次预紧、回复退火,仍能产生新的自锁摩擦力矩,主要原因有 3 个方面。

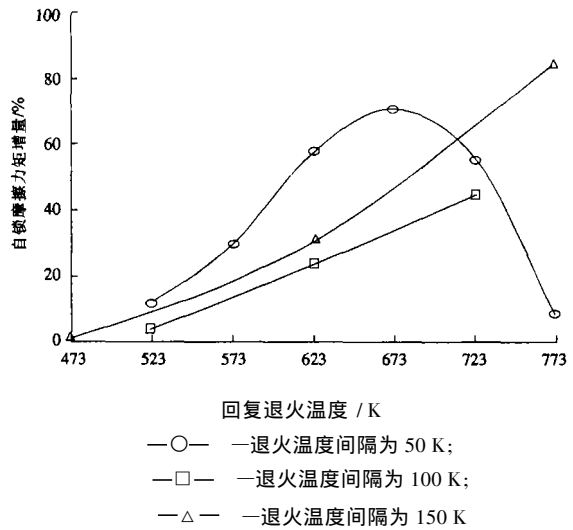


图 2 回复退火温度对自锁摩擦力矩增量的影响
Fig. 2 Effect of recovery temperature on increment of self-locking friction moment

1) 铁基形状记忆合金热滞大,当退火温度低于 A_r 时,合金中的应力诱发马氏体逆相变总是不完全,所以在随后的回复退火过程中,仍会发生应力诱发马氏体逆相转变^[6],从而带来径向形状回复,此时的回复均受到约束作用,将会产生巨大的径向回复力,转化为自锁摩擦力矩。

2) 因为螺母螺纹牙在螺纹连接预紧后受到弯曲应力作用,能产生应力诱发马氏体相变,所以前一次试验过程相当于一次热-机械训练,在一定范围内能为后面试验中的回复退火在形状记忆效应方面起到促进作用,有效地增大轴向回复力产生的自锁摩擦力矩。因此,在同样温度下退火,前面的退火次数越多,训练效果越明显,其自锁摩擦力矩越大。

3) 铁基形状记忆合金在形状回复过程中,因为受到约束作用产生的回复力能进一步诱发马氏体相变,虽然使回复力降低,但在一定程度上增加了材料中应力诱发马氏体含量,为下一次形状回复创造有利条件,所以可以利用铁基形状记忆合金“低温松弛”这一特点^[6],使铁基形状记忆合金螺母的重复使用得以实现。

根据有关资料介绍,为了使螺纹连接在受到突然的冲击振动载荷时不出现松动,紧固力矩至少为松动力矩的 1.25 倍^[2],所以可以把自锁摩擦力矩提高 25% 作为螺母实现防松的最低标准。由图 2 还可以看出:当退火温度低于 573 K 时,螺纹连接的自锁摩擦力矩虽然都有不同程度的增加,但不能有效地实现防松;在 3 组试验结果中,当回复退火温度间隔为 50 K 时,螺母自锁摩擦力矩增量有 4 次高于 25%,而回复退火温度间隔分别为 100 K, 150 K 时,螺母自锁摩擦力矩增量分别只有 1 次和 2 次高于 25%。这表明回复退火温度间隔为 50 K 时铁基形状记忆合金螺母具有较好的重复使用性能;当回复退火温度间隔为 50 K 时,随着回复退火温度的逐渐升高,自锁摩擦力矩的增加量逐渐增大,但当回复退火温度超过 673 K 后,继续提高回复退火温度,自锁摩擦力矩的增加量开始逐渐减小。这是因为随着回复退火温度的升高和退火次数的增加,在后面的退火过程中发生相变的应力诱发马氏体量减少,从而产生的形状回复量也相对较小,导致自锁摩擦力矩增加量逐渐下降。回复退火温度间隔为 100 K, 150 K 时,各组试件即使在相同条件下,其防松性能也存在差异,主要原因可能是螺纹牙啮合间隙不同,使得螺母发生自由回复量不同,相应的约束回复量也不同。

根据以上分析,影响铁基形状记忆合金防松螺母重复使用性能的因素包括回复退火温度、退火温度间隔、退火次数、螺纹牙间隙等。为保证铁基形状记忆合金螺母在拆卸时不因自锁摩擦力矩过大而引起不便,又不影响该新型螺母的防松性能,可以根据不同使用要求,选择不同的回复退火工艺: 1) 对于螺纹连接可靠度要求较高、不需经常拆卸的场合,依据螺纹连接的具体情况,选择较大回复退火温度,一次性使径向回复力矩达到最大,在这种条件下,螺母一次使用直到报废,如需要拆卸可以采取破碎法,将螺母沿轴向分割为 2 半拆下; 2) 对于需经常拆卸的场合,可根据具体情况,采取选择适当的退火温度、多次回复退火、缩小回复退火间隔等措施,以保证各次自锁摩擦力矩的增加量比较均匀。

4 结 论

1) 影响铁基形状记忆合金防松螺母重复使用性能的因素包括回复退火温度、退火温度间隔、退火次数、

螺纹牙间间隙等。当回复退火温度间隔为 50 K 时, 该新型螺母有 4 次自锁摩擦力矩增加量在 25% 以上, 重复使用性能较好。

2) 根据螺母的不同使用条件, 可以选择不同的回复退火工艺: 对于螺纹连接可靠度要求较高、不需经常拆卸的场合选择较大回复退火温度, 一次性使径向回复力矩达到最大; 对于需经常拆卸的场合, 选择适当的退火温度, 多次回复退火, 把较大径向回复力矩分多次加到螺纹连接上。

参考文献:

- [1] 顾俊峰. 新型防松螺母在铁路部门中的应用研究[J]. 武汉交通科技大学学报, 1997, 21(3): 281-285.
- [2] 何红征. 螺纹连接的松动问题及防松措施[J]. 华南理工大学学报, 1995, 4(8): 490-494.
- [3] 沈英明, 杜彦良, 孙宝臣, 等. 铁基形状记忆合金螺母防松原理的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2001, 30(Supp.): 303-306.
- [4] 沈英明, 杜彦良, 孙宝臣, 等. 铁基形状记忆合金防松螺母研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2001, 29(12): 1 443-1 446.
- [5] 徐祖耀. 铁基形状记忆合金(续完)[J]. 上海金属, 1993, 15(3): 1-8.
- [6] 林成新, 谷南驹, 刘庆锁, 等. Fe-Mn-Si 形状记忆合金低温松弛机理[J]. 金属学报, 2002, 38(8): 825-828.

(上接第 129 页)

4 结 论

1) 本清洗剂适宜清洗铁粉表面的轧制油污, 可使清洗后铁粉的洁净率达到 96.11%。

2) 本清洗剂的配方为 $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 6.86\%$, $w(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 3.46\%$, $w(\text{表面活性剂 1}) = 0.46\%$, $w(\text{表面活性剂 2}) = 0.46\%$, $w(\text{水}) = 88.76\%$ 。

3) 本清洗剂的最佳洗涤温度为 76 °C。

参考文献:

- [1] 河北科技大学. 冷轧乳化液中纳米铁粉的回收方法[P]. 中国专利: 200410012152. X, 2005-01-05.
- [2] 河北科技大学. 黑色金属粉末油污清洗剂[P]. 中国专利: 200410012153. 4, 2005-01-05.
- [3] 陈旭俊. 工业清洗剂及清洗技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [4] 章永年, 洪珍玉. 工业及公共设施洗涤剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- [5] 秦国治, 田志明. 防腐蚀技术及应用实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] 曹彩英, 赵平, 师伟力, 等. 冷轧乳化液中纳米铁粉的回收[J]. 河北科技大学学报, 2004, 25(3): 81-84.
- [7] 陈魁. 应用概率统计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

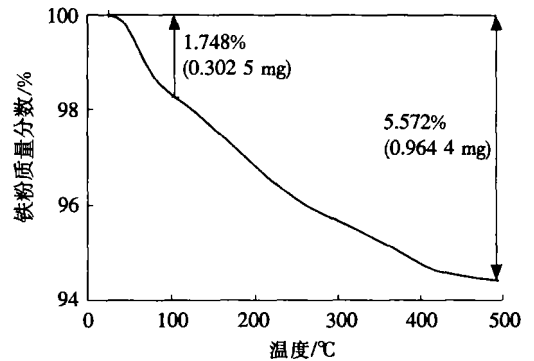


图 1 铁粉热重分析图

Fig. 1 Thermogravimetric analysis

• 科技新闻 •

《河北科技大学学报》被《中国生物学文摘》 和中国生物学文献数据库收录

日前, 河北科技大学学报编辑部接到了《中国生物学文摘》编辑部和中国生物学文献数据库的收录证书, 证书表明: 《河北科技大学学报》被《中国生物学文摘》和中国生物学文献数据库正式收录。

(雪中玉)