

螺塞材质对内螺纹防渗碳效果的影响研究

黎瑞敏, 袁吉, 陈可, 王健翔, 王明槟, 钟小梅

重庆齿轮箱有限责任公司 重庆 402260

摘要: 针对生产过程中内螺纹存在的防渗碳问题, 采用仿真模拟和渗碳淬火试验相结合的方式对T3纯铜和20钢螺塞堵塞螺纹孔进行隔离防渗碳工艺研究。对高温下内螺纹与外螺纹膨胀后的密封情况进行了仿真, 并试验验证两种方案下渗碳淬火处理后内螺纹的隔离防渗碳效果。结果表明: 使用T3纯铜螺塞隔离时渗碳气氛进入螺纹孔内部的通道较20钢窄; 在 $930^{\circ}\text{C} \times 21\text{h}$ 渗碳工艺条件下, 采用T3纯铜螺塞隔离后内螺纹各螺牙硬度均较20钢低, 且前者硬度波动较后者小; 与后者相比, 前者具有高防护、高稳定、高经济特点。

关键词: 内螺纹; 防渗碳; 螺塞; 仿真

Study on the influence of bolt material on anti-carburizing effect of internal thread

LI Ruimin, YUAN Ji, CHEN Ke, WANG Jianxiang, WANG Mingbin, ZHONG Xiaomei

Chongqing Gearbox Co., Ltd., Chongqing 402260, China

Abstract: In view of the problem of anti-carburizing in the production process of internal thread, this paper studied the process of anti-carburizing isolation about the internal thread of plugging by T3 copper and 20 steel bolts by means of simulation and carburizing and quenching. The sealing of internal thread and external thread after expansion at high temperature was simulated, and the anti-carburizing isolated effect of internal thread after carburizing and quenching were verified by experiment. The results show that, the passage that the carburizing atmosphere enter the hole is smaller than that of 20 steel when the T3 copper plug is used. Under the condition of $930^{\circ}\text{C} \times 21\text{h}$ carburizing, the hardness of each screw tooth of internal thread separated by T3 copper plug is lower than that of 20 steel, and the hardness fluctuation is smaller than that of 20 steel. the former has the characteristics of high protection, high stability and high economy.

Keywords: internal thread; anti-carburizing; thread plug; simulation

1 序言

在齿轮传动领域, 齿轮或齿轮轴类零件是传动系统重要的零部件, 故对使用性能要求较高, 目前多采用渗碳淬火处理方式对零件整体进行表面强化^[1-3]。但由于该类零件上的螺纹孔中螺牙尺寸较小, 易淬透, 脆性大, 因此易发生螺牙损坏现象^[4-6]。零件设计时对螺纹孔硬度要求较低, 加工时常采取螺纹孔防渗碳、预留加工余量及硬化后退火处理等方法

来实现对螺纹硬度的控制, 但后两种措施与前一种措施相比, 易造成能源及设备等资源浪费, 延长生产周期, 不利于实际生产。目前, 较为常用的防渗碳方法有刷涂涂料、刷铜镀铜等, 这些方法对淬火油、清洗剂污染较大且效果不理想, 特别是对内螺纹而言, 存在刷涂操作与清理不便的问题, 故不适用于该部位^[7-9]。而在零件渗碳淬火处理时采用机械方法进行螺纹孔密封则可避免该类问题。有研究者对材

料热膨胀系数的影响因素进行研究,发现尽管影响因素较多,但材质成分差异的影响较大^[10-12]。综上所述,选择合适材质的螺塞进行螺纹孔隔离防渗碳是当前亟待解决的问题。

针对上述存在的问题,本文以齿轮材料制作的带螺纹孔试样为研究对象,综合考虑原材料应用成本及热膨胀系数因素,考察选用两种不同材质螺塞堵塞螺纹孔进行隔离防渗碳的效果差异。通过高温下内外螺纹膨胀情况仿真计算及试验验证研究,分析采用不同材质螺塞隔离防渗碳后内螺纹螺牙的实际硬化程度,明确两种材质螺塞的防渗碳效果差异,以实现内螺纹高质量、高稳定及高经济性防渗碳,提高产品加工质量。

2 试验与仿真

2.1 试验材料

本文选用传动系统高性能17Cr2Ni2MoH齿轮用钢制作带螺纹孔试样,该材料常用于制作齿轮、齿轮轴等减速器重要零件,化学成分见表1。采用轧材下料、锻造后等温正火处理,再经机械加工、去应力退火处理制成带螺纹孔螺套试样。螺塞分别采用20钢和T3纯铜两种牌号材料制作而成,20钢化学成分见表1,T3纯铜选择 $w_{Cu} \geq 99.7\%$ 。

表1 17Cr2Ni2MoH和20钢化学成分(质量分数)(%)

材料牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
17Cr2Ni2MoH	0.17	0.25	0.50	0.013	0.003	1.78	1.58	0.02	0.27
20钢	0.19	0.24	0.52	0.02	0.019	0.04	0.02	0.02	—

2.2 试验方法

螺纹孔与螺塞的相关尺寸及配合精度如图1所示。其中,螺纹均为右旋,螺距为2mm。内外螺纹经去油污并干燥后,按17Cr2Ni2MoH螺套+T3纯铜螺塞、17Cr2Ni2MoH螺套+20钢螺塞两种方案进行旋紧配合,再将两套螺纹副试样按17Cr2Ni2MoH材料制作零件的常规渗碳淬火工艺进行热处理。本试验采用KE5/1预热炉、VKES5/1主体渗碳淬火炉,渗碳、淬火工艺曲线如图2所示,并按170~180℃要求进行回火。上述试验完成后取出相应螺塞,螺套按图1所示沿螺纹孔轴线方向对半剖开,采用对应金相纸将试块纵切面打磨抛光,并经10%的硝酸酒精溶液侵蚀。采用XJP-3A金相显微镜对螺套试样螺牙

顶部区域及心部组织进行评价,采用Zwick/Roell显微维氏硬度计对各内螺纹螺牙硬度及螺套心部硬度进行评价。通过上述检测与分析,综合评价内螺纹的防渗碳隔离效果。

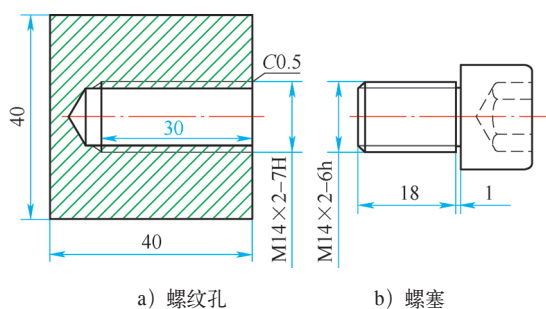
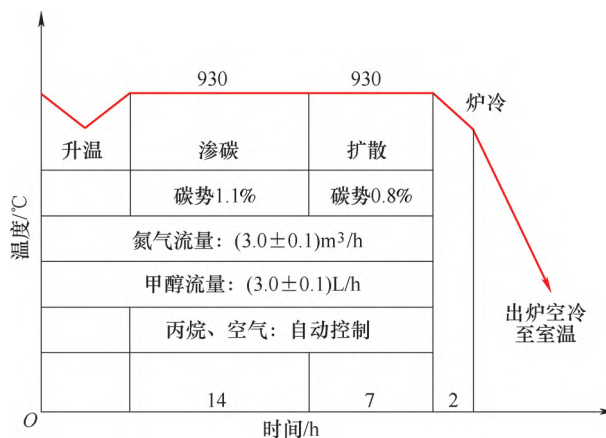
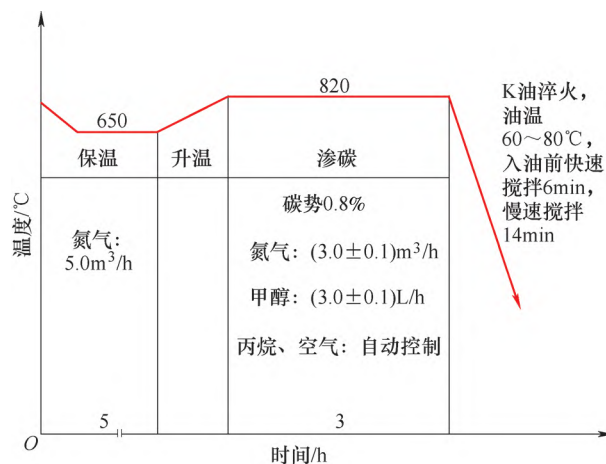


图1 试样配合示意



a) 渗碳工艺曲线



b) 淬火工艺曲线

图2 渗碳淬火工艺曲线

2.3 仿真参数

试样三维剖视及有限元计算模型如图3所示,对应仿真参数见表2。螺纹联接结构采用考虑公差的模型进行计算,其中仿真时内螺纹螺牙下侧壁与

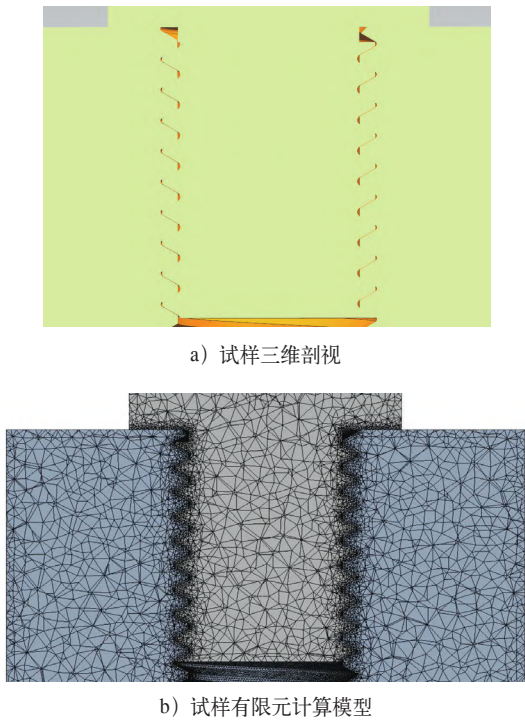


图3 试样三维剖视图和有限元计算模型

外螺纹上侧壁贴紧配合，并在螺塞光杆部位施加预紧力。分析上述渗碳淬火及回火工艺发现，在有碳势且长时间停留的温度主要为930℃和820℃，因此可通过仿真分析该高温下两种材质螺塞外螺纹与

内螺纹的配合密封情况，从而判断其渗碳气氛通过内外螺纹缝隙进入螺纹孔内部的可能性。本文采用ANSYS进行相应仿真参数设置，分别分析两种材质螺塞与内螺纹配合后在930℃及820℃温度下的膨胀密封情况，其中螺套下端面设置为固定面，热膨胀系数取合适定值进行计算。

表2 仿真分析方案及参数

方案编号	温度/℃	配合方式	热膨胀系数/ $(\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C})$	公差尺寸/mm
1	930	17Cr2Ni2MoH螺套 + T3纯铜螺塞	T3纯铜螺塞: 1.8 20钢螺塞: 1.4 17Cr2Ni2MoH螺套: 1.3	内螺纹小径公差: 0.075 外螺纹大径公差: -0.08
2	930	17Cr2Ni2MoH螺套 + 20钢螺塞		
3	820	17Cr2Ni2MoH螺套 + T3纯铜螺塞		
4	820	17Cr2Ni2MoH螺套 + 20钢螺塞		

3 仿真结果与分析

按图1、图3及表2进行试样三维图绘制、网格划分及仿真计算，仿真结果如图4、图5所示。

分析图3~图5可发现，高温下分别采用两种材质螺塞进行堵塞隔离时，内螺纹在螺牙顶、螺牙底及其侧壁均存在一定间隙。其中，在930℃及820℃

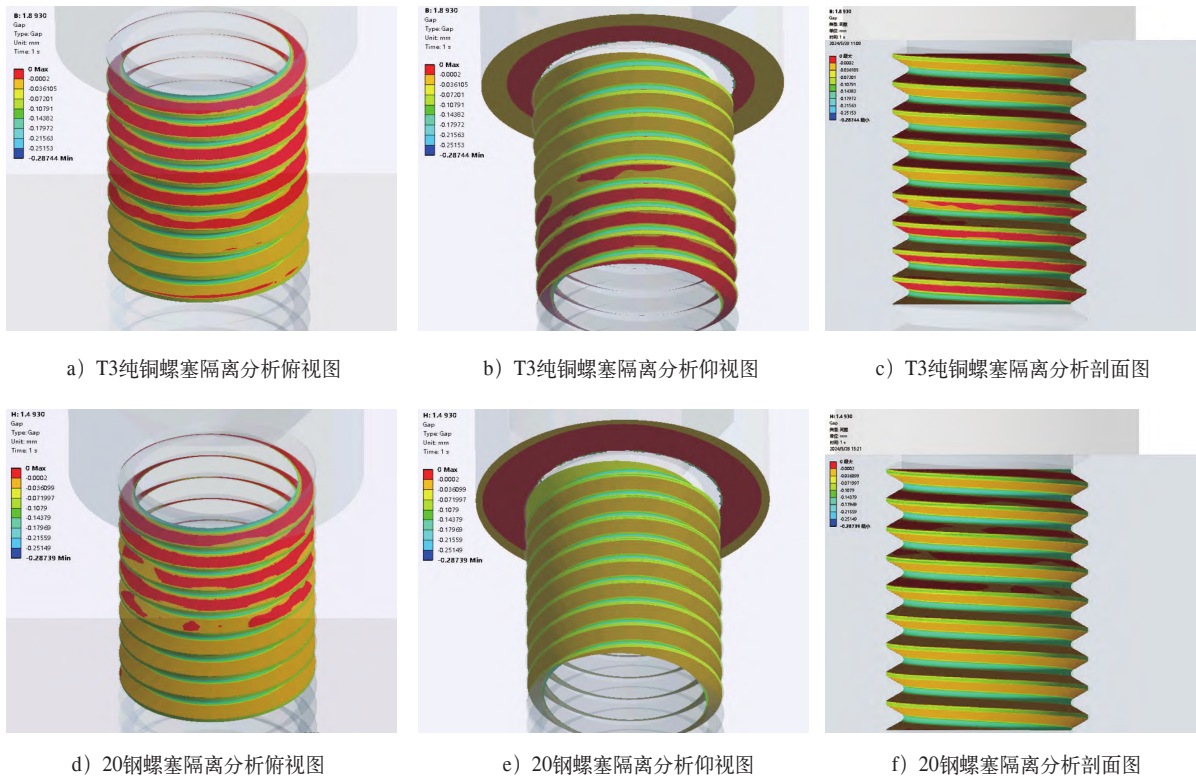


图4 930℃温度下不同材质螺塞隔离时各螺牙间间隙值

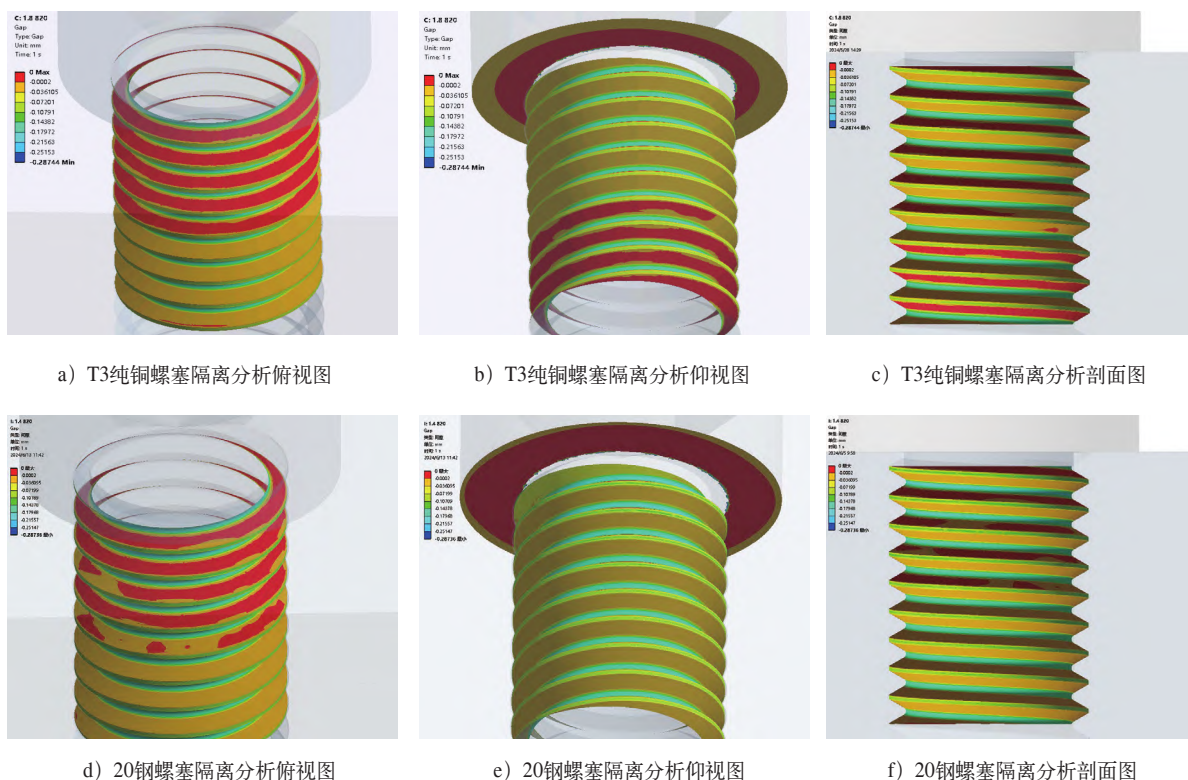


图5 820℃温度下不同材质螺塞隔离时各螺牙间间隙值

温度下,两种材质螺栓隔离时内外螺纹对应螺牙顶和螺牙底间隙值整体相差不大,而在螺纹孔口与螺塞头部配合端面,由于T3纯铜螺塞外侧区域膨胀较快,配合端面外侧区域间隙较20钢螺塞大,但靠内侧配合面始终处于无间隙或小间隙状态。此外,在两种温度下采用T3纯铜螺塞隔离时,螺塞下半段区域螺牙下侧壁与对应内螺纹上侧壁大部分区域处于无间隙或较小间隙状态,且上侧壁局部区域与内螺纹下侧壁配合情况处于同样状态,而采用20钢隔离时整个螺塞下侧壁与内螺纹上侧壁间均存在较大间隙;同时,在两种温度下采用T3纯铜螺塞隔离时,螺塞上侧壁大部分区域与内螺纹下侧壁无间隙或较

小间隙配合,而采用20钢螺塞隔离时,其上侧壁与内螺纹下侧壁同样处于无间隙或较小间隙配合状态的螺纹面积比T3螺塞小。因此,整体来看,采用T3纯铜螺塞隔离时内外螺牙间间隙比用20钢时小,前者气体进入螺纹孔内部的有效通道比后者窄,可预测T3纯铜螺塞堵塞螺纹孔的隔离防渗碳效果比20钢好。

4 试验结果与分析

4.1 显微组织分析

将螺套试样螺纹孔口、孔底的螺牙顶部及试样心部金相组织进行检测和评价,结果如图6~图8所示。由图6~图8可发现,两螺套试样心部组织均主

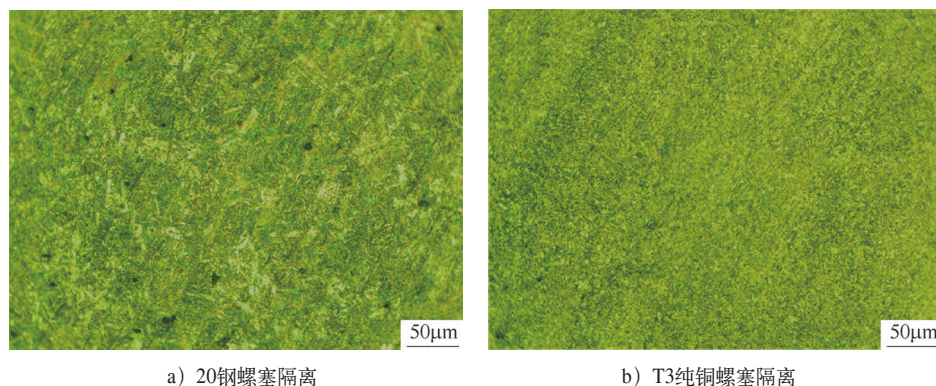
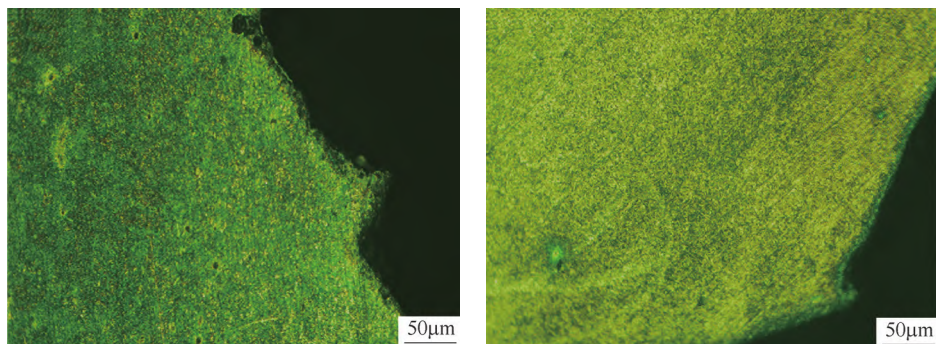
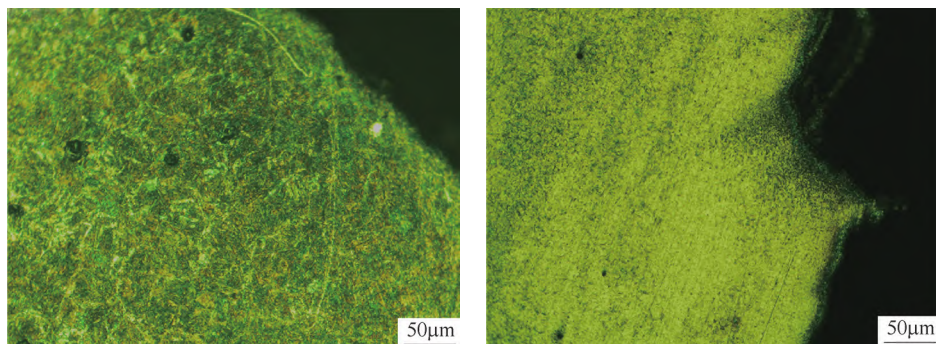


图6 20钢和T3纯铜螺塞隔离后螺套试样心部组织



a) 20钢螺塞隔离 b) T3纯铜螺塞隔离

图7 20钢和T3纯铜螺塞隔离后螺套试样螺纹孔口牙顶区域显微组织



a) 20钢螺塞隔离 b) T3纯铜螺塞隔离

图8 20钢和T3纯铜螺塞隔离后螺套试样螺纹孔底部牙顶区域显微组织

要为马氏体、少量铁素体；采用20钢螺塞隔离时螺套试样螺纹孔口牙顶区域金相组织主要为细针状马氏体、一定量碳化物和少量残留奥氏体，螺纹孔底部牙顶区域主要为细针状马氏体、少量碳化物和残留奥氏体组织；采用T3纯铜螺塞隔离时螺纹孔口牙顶区域金相组织主要为隐针状马氏体、一定量碳化物和少量残留奥氏体组织，螺纹孔底部牙顶区域主要为隐针状马氏体、铁素体和少量残留奥氏体。这是由于高温下采用不同材质螺塞隔离时两试样对应内外螺牙间间隙值不一致，致使两试样内螺纹对应螺牙与渗碳气氛接触的表面积不同，渗入对应螺牙内部的C含量有一定差异。因此，综合分析可知，采用T3纯铜螺塞较20钢螺塞隔离防渗碳时，在螺套试样螺纹孔口和孔底的螺牙顶区域生成更多的脆硬组织。

4.2 显微硬度分析

图9所示为分别经20钢螺塞和T3纯铜螺塞堵塞螺纹孔隔离防渗碳后内螺纹各颗螺牙间硬度变化的曲线，其硬度检测点为距每颗螺牙顶0.15mm位置。横坐标为0处表示螺纹孔顶，沿螺纹孔顶向底部的方向逐牙检测。两螺套试样横截面中心部位心部硬度

检测结果见表3。

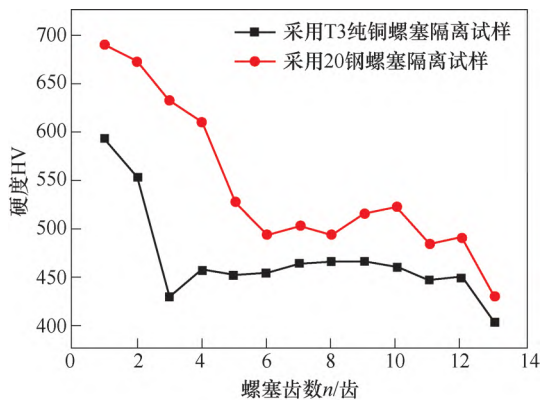


图9 20钢与T3纯铜螺塞隔离后螺套试样螺牙硬度曲线

表3 20钢和T3纯铜螺塞隔离后螺套试样心部硬度 (HV)

试样名称	心部硬度					平均硬度
20钢隔离试样	432	425	432	436	428	430.6
T3纯铜隔离试样	428	436	427	436	423	430

从图9、表3可看出,在两螺套试样内螺纹各对应螺牙位置上,采用T3纯铜螺塞堵塞隔离后内螺纹螺牙的硬度均较采用20钢螺塞时低。其中,在螺纹孔顶区域,前者出现超过550HV高硬度螺牙数量较后者少,在螺纹孔中部及底部区域,前者各螺牙间硬度波动较后者小,且前者在第3个螺纹牙开始直至螺纹孔底部硬度值较平缓,两者螺纹孔底部的硬度与螺套试样基体硬度相当。此外,随着距螺纹孔口距离的增加,两种材质螺塞隔离时内螺纹螺牙硬度均整体呈下降趋势。其中,采用20钢螺塞时硬度下降梯度最大,总下降值为260HV,而采用T3纯铜螺塞时硬度下降梯度较小,总下降值为189HV。因此,采用T3纯铜螺塞堵塞螺纹孔隔离防渗碳的效果较采用20钢螺塞效果好,其中效果最好区域为螺纹中部及螺纹孔底部区域。

5 结束语

通过显微组织及维氏硬度分析,发现试验与仿真结果高度吻合,并得到以下结论。

1) 仿真分析表明,高温下采用T3纯铜螺塞堵塞隔离时渗碳气氛进入螺纹孔内部通道较20钢窄,预测前者隔离防渗碳效果较后者好。

2) 采用T3纯铜螺塞隔离防渗碳时在螺套试样螺纹孔口和孔底的螺牙顶区域脆硬相占比较20钢少,前者整个螺纹螺牙顶部对应硬度值及整体硬度波动情况均较后者小,整体防渗碳效果更好。

3) 在生产实际过程中,与20钢螺塞堵塞螺纹孔相比较,T3纯铜螺塞能更好地实现螺纹孔的隔离防渗碳,且多次使用螺塞未出现变形,可多次循环使用。

参考文献:

- [1] 付海峰,李俏,徐跃明.重载齿轮热处理及应用[J].金属热处理,2020,45(3):178-183.
- [2] MENGARONI S, BAMBACH M D, CIANETTI F, et al. Strengthening improvement on gear steels[J]. Steel Research International, 2016, 87(5): 608-613.
- [3] PRIYADARSHINI S, SWEETI J, SHARMA T. Effect of carburizing on hardness and microstructure of low carbon steel[J]. International Journal of

Mechanics and Solids, 2016, 11(1): 11-15.

- [4] 谢浪. 螺纹的防渗碳与漏渗碳处理[J]. 金属热处理, 2000, 13(12): 29-30.
- [5] 胡义华,程露,黄志超.某轻型卡车后桥主动齿轮螺纹轴断裂原因分析[J].热加工工艺,2020,49(20):156-160.
- [6] GAO Y ZH, XU X L, YU ZH W. Brittle cracking of a cylindrical spiral gear of axle gearbox[J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2014, 14(1): 68-75.
- [7] 孙宣杰,王金栋,潘树民,等.防渗涂料对内花键齿轮渗碳隔离工艺的影响[J].新技术新工艺,2022(1):25-28.
- [8] 李晗晔,孙慧艳,袁福河.一种改善防渗碳性能的脉冲镀铜工艺优化[J].航空制造技术,2017(15):92-96.
- [9] 金荣植.齿轮的防渗技术及防渗涂料的清理方法[J].金属加工(热加工),2012(5):41-45.
- [10] 苗恩铭.精密零件热膨胀及材料精确热膨胀系数研究[D].合肥:合肥工业大学,2004.
- [11] XIE H J, WU X CH, MIN Y A. Influence of chemical composition on phase transformation temperature and thermal expansion coefficient of hot work die steel[J]. 钢铁研究学报(英文版), 2008, 15(6): 56-61.
- [12] MARIO M, LUBOMIRA D, BEDFICH S. Determination of a coefficient of thermal expansion by machine learning; 29th International Conference on Metallurgy and Materials[C]. Czech; Brno, 2020.

MW 20240628