

团 体 标 准

T/CSAE00—2020

汽车高温连接紧固件技术条件

Technical specification for threaded fasteners
in high temperature automotive applications

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2020-00-00 发布

2020-00-00 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 通用技术要求	2
4.1 应用环境	2
4.2 综合要求	2
5 紧固件产品技术要求	2
5.1 紧固件制造一般要求	2
5.2 尺寸要求	3
5.3 性能要求	3
6 表面处理技术要求	4
6.1 表面处理一般要求	4
6.2 检测要求	5
7 测试及验证要求	5
7.1 高温性能测试	5
7.2 零件装配试验	8
7.3 系统台架试验	9
7.4 整车路试验证	9
8 标识标记及包装交货	10
9 其它要求	10
附录	11

前 言

本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会提出。

本标准起草单位：泛亚汽车技术中心有限公司、舟山市7412工厂、浙江国检检测技术股份有限公司、福特汽车工程研究（南京）有限公司、上海汽车集团股份有限公司乘用车分公司、北京汽车集团越野车有限公司、上汽大众汽车有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、长安福特汽车有限公司、观致汽车有限公司、上海大学、上海海德信金属材料有限公司、昆山贸盈金属有限公司、内德史罗夫紧固件(昆山)有限公司、浙江吉利汽车研究院有限公司、浙江吉智新能源汽车科技有限公司、深圳航空标准件有限公司、苏州工业园区新凯精密五金有限公司、南京宝日钢丝制品有限公司、美加力新能源（海安）有限公司、安美特（中国）化学有限公司、上海纳特汽车标准件有限公司、东风汽车公司、中国科学院兰州化学物理研究所、四川航天世源汽车部件有限公司、苏州誉高紧固系统有限公司、日泰（上海）汽车标准配件有限公司、河南特润科技服务有限公司、佛山市涂亿装饰材料科技有限公司

本标准主要起草人：袁峰、钱鹏、赵萍丽、王慧、曹培元、鲁萍、李大维、栾俭新、廖亚忠、刘国龙、黄平、陈欢欢、王熠昕、易天泳、陆恒昌、张波、刘翠红、潘黎、杨磊、冯雪桥、沈燕辉、张中军、崔增光、张建明、朱建辉、吴杰、陆叶君、李万江、张斌、罗洪、李琴、张志良、刘美玲、吴延军

汽车高温连接紧固件技术条件

1 范围

本标准规定了汽车高温连接紧固件生产制造技术条件、表面处理技术条件；包含机械性能、扭矩测试在内的系统装配验证技术条件以及标识标记、包装交货要求。

本标准适用于镍合金材料、耐热不锈钢材料或一般合金耐热钢材料冷成型的汽车紧固件，使用温度为150℃～650℃，规格为M4-M16的螺栓、螺钉、螺柱及螺母。

2 规范性引用文件

下列标准对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误内容）或修订版均不适用于本规范，但鼓励根据本规范达成协议的各方研究使用这些文件最新版本的可能性。

- GB/T 196 普通螺纹 基本尺寸
- GB/T 197 普通螺纹 公差
- GB/T 224 钢的脱碳层深度测定法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法
- GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 3098.8 紧固件机械性能 -200℃～+700℃使用的螺栓连接零件
- GB/T 3103.4 紧固件公差 -200℃～+700℃使用的螺栓-螺母连接副
- GB/T 4338 金属材料 高温拉伸试验方法
- GB/T 5779.1 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 一般要求
- GB/T 5779.2 紧固件表面缺陷 螺母
- GB/T 5779.3 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 特殊要求
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 14992 高温合金和金属间化合物高温材料的分类和牌号
- GB/T 30512 汽车禁用物质要求
- GB/T 34895 热处理金相检验通则
- T/CASE 74 紧固件摩擦系数试验方法
- T/CASE 99 汽车紧固件用耐热钢技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

固溶 Solution

将工件加热至适当温度并保温，使过剩相充分溶解，然后快速冷却以获得过饱和固溶体的热处理工艺。

3.2

时效 Aging

工件经固溶处理后在室温或高于室温的适当温度保温，使第二相脱溶以达到沉淀硬化的目的的热处理工艺。

3.3

沉淀硬化 Precipitation Hardening

在过饱和固溶体中形成溶质原子偏聚区和（或）析出弥散分布的强化相而使金属硬化的热处理工艺。

3.4

摩擦系数 Coefficients of Friction

紧固件在拧紧过程中克服端面及螺纹副的摩擦，该摩擦力与主动施加正压力之间的比值，可以视为一个材料常数。

4 汽车高温连接紧固件通用技术要求

4.1 高温连接紧固件应用环境

高温连接紧固件一般应用于汽车高温工作服役区域，如排气歧管连接缸盖，涡轮增压器连接排气歧管，三元催化器连接增压器，排气管连接三元催化器等。该区域服役的零部件及总成承担着汽车驱动动力的能量产生与转变、动能输出、燃料输送和高温排放气体的高速流动及循环。

4.2 高温连接紧固件综合要求

具备高温连接要求的紧固件基体材料本身需具备一定的高温性能，如较高的高温力学性能、组织稳定性和防腐性能。

紧固件及其表面处理涂层均需要满足装配服役性能和可拆卸要求或售后市场维修要求。

5 紧固件产品技术要求

5.1 紧固件制造一般要求

5.1.1 汽车高温连接紧固件整体一般应采用锻、锻等冷成型，成型设备使用冷锻机或冷锻机，应具有

标准材料校直装置、送料轮压紧装置。

5.1.2 根据材料牌号的不同或供需双方协议，并在合同中注明，对采用沉淀硬化型不锈钢或镍合金材料制造的紧固件螺纹可以在时效硬化后或者固溶后时效硬化前加工成型。

5.1.3 高温连接紧固件热处理需根据材料牌号的不同选择适合的设备工艺生产。耐热合金钢及马氏体不锈钢材料使用淬火加高温回火热处理方式，耐热铁素体不锈钢材料采用退火热处理方式，沉淀硬化型不锈钢材料应采用固溶加时效的处理方式，热处理设备需满足长时间保温要求。

5.2 尺寸要求

5.2.1 螺纹尺寸：基本尺寸按 GB/T 196 的规定；公差带按 GB/T 197 规定的 6H（内螺纹）及 6g（外螺纹）。

5.2.2 尺寸公差：尺寸公差按 GB/T 3103.4 的规定，执行等级不低于 TB 等级。

5.2.3 形位公差：形位公差按 GB/T 3103.4 的规定，执行等级不低于 TB 等级。

5.2.4 表面粗糙度：表面粗糙度按 GB/T 3103.4 的规定，执行等级不低于 TB 等级。

5.2.5 表面质量：表面缺陷按 GB/T 5779.1、GB/T 5779.2、GB/T 5779.3 的规定执行，也可根据供需双方协议进行，并在合同中注明。

5.3 性能要求

5.3.1 室温机械性能

高温连接紧固件按在室温下力学性能需满足表 1 的要求。测试需以紧固件成品为样品，若成品形状尺寸如螺母不满足测试要求的，可用随炉替代样品（参见附录 C 图 4 光滑随炉试棒），但替代样品的材料、热处理工艺等应与成品一致。

表 1 高温连接紧固件室温性能

原材料类别	牌号 ^{*1}	典型的热处理制度 ^{*4}	螺栓抗拉强度，MPa	螺母保证应力，Mpa	硬度，HV ^{*5}
沉淀硬化型不锈钢	ML06Cr15Ni25Ti2MoAlVB ^{*2}	+AT+P	900-1150	≥971	287-367
铁素体型不锈钢	ML04Cr11Nb ^{*2}	+A	≤485	≥718	180-285
合金钢	ML41CrMoV ^{*2}	+QT	850-1000	≥937	272-320
合金钢	ML21CrMoV ^{*2}	+QT	700-850	≥937	225-272
马氏体型不锈钢	14Cr17Ni2 ^{*3}	+QT	861-1034	≥965	253-304
镍合金	GH4080A ^{*3}	+AT+P	1000-1300	1057	320-417

注：

- 1) 其它等效牌号由供需双方协商，可参考GB/T 3098.8或其它标准。
- 2) 牌号为T/CSAE 99中规定的牌号。
- 3) 牌号为其它常见汽车高温连接紧固件材料牌号，14Cr17Ni2为GB/T 20828中的牌号，相当于JIS G 4303 SUS431，GH4080A为GB/T 14992中的牌号，相当于ASTM B637 UNS 07080。
- 4) +AT：固溶；+P：时效硬化；+QT：淬火并回火；+A：退火。
- 5) 螺栓硬度试验载荷参考GB/T 3098.1，螺母硬度试验载荷参考GB/T 3098.2。

5.3.2 高温性能

高温连接紧固件高温机械性能按GB/T 4338规定的方法，需满足表2的要求。

表 2 高温连接紧固件高温机械性能

牌号	热处理状态	机械性能 MPa		温度℃										
				150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
ML06Cr15Ni 25Ti2MoAlVB	+AT+P	R _m	min	—	—	—	—	—	720	710	700	690	670	—
		R _{p0.2}	min	570	560	550	540	530	520	510	490	460	430	380
ML04Cr11Nb	+A	R _m	min	360	340	320	300	290	275	250	225	200	175	—
		R _{p0.2}	min	210	200	190	180	174	165	150	135	120	105	—
ML41CrMoV	+QT	R _m	min	780	760	730	715	695	665	630	565	480	350	—
		R _{p0.2}	min	647	631	608	593	577	554	523	470	400	293	—
ML21CrMoV	+QT	R _m	min	645	625	600	575	540	510	475	440	400	645	—
		R _{p0.2}	min	515	500	480	460	435	410	380	350	—	—	—
14Cr17Ni2	+QT	R _m	min	780	760	730	715	695	665	630	565	480	350	—
		R _{p0.2}	min	647	631	608	593	577	554	523	470	400	293	—
GH4080A	+AT+P	R _m	min	950	900	900	900	900	900	900	890	880	850	—
		R _{p0.2}	min	577	568	564	560	550	540	530	520	510	500	480

5.3.3 微观组织

根据原材料类型和热处理工艺的不同，典型的高温连接紧固件金相组织特征可参考附录 A 所示金相图谱。

5.3.4 脱碳层

根据紧固件材料牌号的不同，经淬火加高温回火的紧固件产品应检验脱碳层。按 GB/T 3098.1 标准要求采用 GB/T 224 规定的方法进行检验。

6 表面处理技术要求

6.1 表面处理一般要求

根据装配扭矩及轴力要求以及高温工况后的拆装维修要求，高温连接紧固件表面需进行合适的表面处理用于调节产品摩擦系数和防止高温烧结。

具有以下特征的高温连接紧固件，应避免进行涂覆处理：

- 螺栓和螺母小于 M6 的；
- 产品上有内部驱动槽或盲孔的；
- 配有活动垫片的紧固件；
- 有导电应用要求的产品。

表面处理生产设施设备及使用的化学品需满足当地环保法规的相关要求。按照供需双方协议，并在合同中注明，表面处理生产的化学品原材料需经过需方的审核与批准。

6.2 检测要求

高温连接紧固件表面涂镀层整体需均匀无色差，不得影响螺纹件的正常安装或装配，同时还需满足润滑及防腐功能以及高温下的连接稳定性。涂镀层最小厚度为 $3\ \mu\text{m}$ ，最大涂镀层厚度应根据表面处理后的紧固件螺纹尺寸公差来约束（本标准条款 5.2.2），一般不应超过 $25\ \mu\text{m}$ 。表面处理后，必须用规定的通止规检验。经供需双方协商，只要成品符合各项指定机械特性，表面处理前的螺纹尺寸可以放大或缩小，以配合涂镀层的厚度，但紧固件基体螺纹公差等级不应低于 6e 或者 6E。

高温连接紧固件表面涂镀层厚度的检测位置应根据附录 B 中图示进行，若紧固件产品本身不具备较大的平面，可采用金相法或按照供需双方的协议进行，并在合同中注明。

涂镀层应具备一定的防腐功能，根据紧固件基体材料和涂镀层性质的不同，厚度及中性盐雾要求可根据供需双方的协议进行，并在合同中注明。

7 测试及验证要求

7.1 高温性能测试

对于实际使用温度在 $650\ ^\circ\text{C}$ 以上，且螺栓抗拉强度要求至少为 900MPa 时，原材料采用 ML06Cr15Ni25Ti2MoAlVB 沉淀硬化型不锈钢或 GH4080A 镍合金的螺栓，可增加螺栓的高温持久试验，评估和验收由供需双方协商进行，并在合同中注明。

7.1.1 测试设备一般要求

高温拉力试验机和高温蠕变试验机要求具备加热及保温装置。试验机应能以可控速率施加拉伸载荷，在试验机允许力值范围内，示值相对误差不应超过 $\pm 1\%$ ，试验机力值按规检定。

加热炉应保证在整个实验期间试样的温度波动和温度梯度符合下表 3 规定，温度应自动记录，测量温度的仪器灵敏度应在 $1\ ^\circ\text{C}$ 以内。

表 3 温度波动和温度梯度要求

试验温度 ($^\circ\text{C}$)	温度波动 ($^\circ\text{C}$)	温度梯度 ($^\circ\text{C}$)
≤ 600	± 2	2
$> 600 \sim 900$	± 3	3
$> 900 \sim 1100$	± 4	4

热电偶应按规定校准，固定热电偶过程中应使热电偶的热接头紧靠试样并固定，受样品长度限制时，至少应在试样两端附近夹具上分别固定一支热电偶。

试验夹具应能在试验温度下承受试验载荷而不产生永久变形，固定试样的夹具安装孔基本直径为紧固件杆部最大直径加 0.025mm ，极限偏差为 $0 \sim +0.10\text{mm}$ 。高温试验要注意防止紧固件因热膨胀而受剪切。

安装紧固件产品（螺柱、螺栓、螺母）的夹具示意图如图 1-3 所示。图 1 为螺柱产品的夹具示意图，图 2 为螺栓产品的夹具示意图，图 3 为螺母类替代随炉试棒产品的夹具示意图。

需方要求螺母类产品进行高温试验时，可采用与螺母同批材料同炉热处理的圆形截面光滑试样进行试验，试样的尺寸和结构加工如附录 C 所示，可参考金属材料的高温拉伸和应力断裂试验方法。

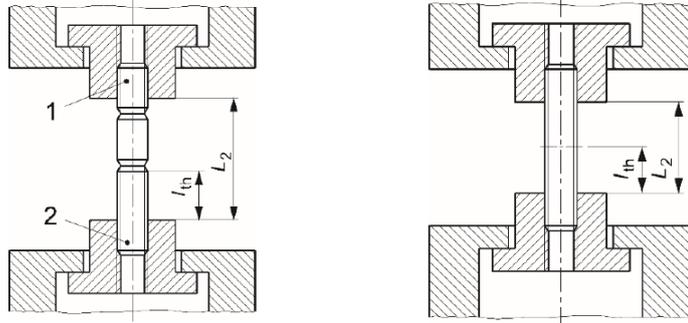


图 1 螺柱产品的夹具示意图

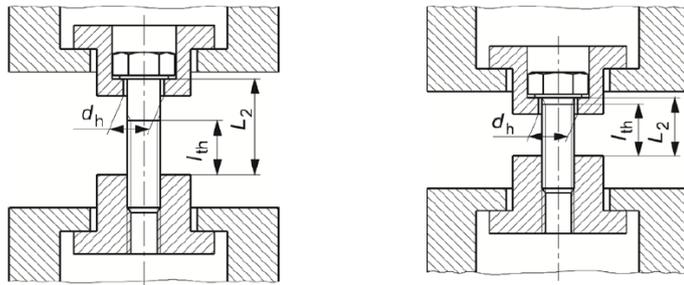


图 2 螺栓产品的夹具示意图

说明：

1——拧入基体端；

2——拧入螺母端；

d_h ——孔径；

l_{th} ——未旋合螺纹长度 $\geq 1d$ ；

L_2 ——夹紧长度。

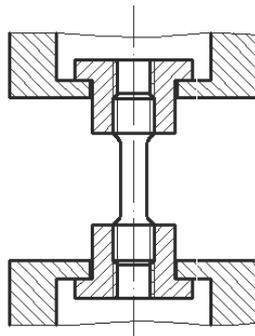


图 3 螺母类替代随炉试棒产品的夹具示意图

对于长度 $L \geq 2.5d$ 的螺栓、螺柱，可参照 GB/T3098.1 中第 8.2 条规定，按照本标准要求实物耐高温持久性试验，安装方式如图 1、图 2 所示。对于长度 $L < 2.5d$ 或结构不能做实物测试的螺栓，可参考 GB/T3098.1 第 8.1 条和 GB/T228.2，采用替代试件进行高温试验，试验方法和条件与实物试样的条件一致。安装方式如图 3 所示。

高温试验过程中要注意夹具和紧固件产品发生螺纹粘合咬死的情况，试验前可在螺纹上涂防高温粘结剂。

7.1.2 待测试零件要求

待测试零件一般情况下需确保一定的长度，如零件长度不满足试验机夹具夹紧要求时，应和需方协商确认试验方案。待测零件状态和供货状态一致。经表面处理后的零件应于24小时后进行测试。特殊情况经供需双方协商，按需方要求执行。

紧固件产品普通螺纹的应力截面积参考GB/T 3098.1要求（或附录中添加表格），对于三棱截面积锁紧功能螺栓的外螺纹和其它特殊螺纹应力截面积由需方提供。

7.1.3 高温试验保温要求

高温试验过程中，在加热达到试验温度和所规定的温度梯度后，保温一段时间后开始试验，高温拉伸保温时间至少为15min，高温持久保温时间至少为1h，但不能超过24h。

7.1.4 高温拉伸试验

拉伸试验过程中，应缓慢平稳的对试样施加载荷，除非另有规定，建议应力速率 $700 \pm 70 \text{MPa/min}$ 进行试验。

7.1.5 高温持久性试验

根据GB/T 2039规定的试验方法，将实物安装在高温蠕变持久试验机上，温度升高至指定温度，加载轴向拉应力到规定拉应力，保持一定时间，螺栓在保持时间内不得发生断裂，不得有明显的变形和伸长，然后继续加大拉应力，直到试样断裂，降到室温时，测量其断后伸长率不得小于规定值。变形和伸长要求根据供需双方协议进行。表4给出了典型材料高温持久性能。

表4 典型材料高温持久性能

牌号	室温性能					高温持久性能			
	抗拉强度 Rm/MPa	规定非比例延伸强度 R _{p0.2} /MPa	断后伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%	硬度 HBW	试验温度 /°C	试验应力 σ/MPa	时间 /h	断后伸长率 A/%
	不小于							不小于	
ML06Cr15Ni 25Ti2MoAlVB	900	590	15	20	247~341	650	450	23	5
							390	100	3
GH4080A	1000	620	20	—	≥285	750	340	30	—

7.1.6 测试结果记录

测试过程需要电脑软件持续监控，并可记录试验全过程曲线，测试报告需包括但不限于以下项目：

- a) 测试零件号、零件或替代样品的名称；

- b) 测试零件或替代样品的规格、原材料炉号；
- c) 测试项目和其依据的测试标准；
- d) 试验温度值及其偏差；
- e) 试验应力值；
- f) 保载时间及试验时间；
- g) 按照测试零件数量分别记录的强度值、延伸率值。

7.2 零件装配试验

根据高温连接紧固件服役特性，供需双方可根据双方签订的技术协议，并在合同中注明，对紧固件进行实际装配试验。

7.2.1 试验设备

- a) 直流驱动拧紧设备。
- b) 工装试验台以及相应的夹具。
- c) 扭矩转角/夹紧力传感器以及数据采集系统。

7.2.2 样品准备

紧固件及被连接副需为量产状态水平，如果实体零件不能满足量产状态水平，可以使用替代件进行测试，但替代件原材料、热处理、表面处理、尺寸等参数等同于量产零件。

每一组测试用过的零件或样品，不能重复使用。

7.2.3 测试过程

- a) 测试对象固定：为保证测试过程中，被连接副和紧固件在拧紧过程中不发生偏移或不对中的情况，需要根据测试对象选择不同的夹具将连接副固定到测试试验台上，拧紧时保证驱动端垂直于旋转承载面。
- b) 拧紧设备和传感器：根据连接副的状况，选取合适的拧紧驱动设备和传感器，保证拧紧过程中的最大扭矩不能超过拧紧设备和传感器范围的 75%。拧紧目标可以根据实际装配扭矩的范围定义：拧紧到失效，拧紧到过屈服，拧紧到指定扭矩/夹紧力，拧紧到驱动头最大扭矩的 50% 到 75%（内驱动头）。
- c) 拧紧速度和步骤：可以根据设计或者制造装配的要求，定义分步拧紧，如需方没有要求，则按照表 5 规定的转速一步拧紧：

表 5 不同紧固件尺寸的拧紧速度

紧固件尺寸	拧紧速度 (RPM)
M4-M8	200
M10	150
M12	100
M14-M16	20

7.2.4 测试结果记录

测试结果中需包含紧固件或替代件名称、材料牌号、工艺类型和尺寸，被连接副或替代件名称、材料牌号、工艺类型，样本数量，拧紧扭矩数值，拧紧速度和步骤。测试结果中需记录紧固件和被连接副在拧紧过程或装配过程中产生的螺纹滑牙、变形、断裂等失效模式。

7.3 系统台架试验

根据高温连接紧固件具体使用位置、工况要求或供需双方约定，需方可进行如下系统台架试验，并根据试验结果判定该批紧固件产品是否满足需方关于装配及验证的要求。

注：系统台架试验在不同的企业管理制度或体系流程中可能有不同的表述，供需双方应在试验前充分交流协商并辨识试验目的和试验交付物。

7.3.1 装配扭矩及夹紧力测试

装配扭矩测试是指在实物对手件拧紧紧固件到装配扭矩后，测试是否有内外螺纹失效，如滑牙或断裂；夹紧力测试是指通过超声波/应变片等方式检测螺栓拧紧到设定扭矩的夹紧力，用以判断是否满足设计的连接功能要求。

7.3.2 总成疲劳试验

将紧固件按照设定扭矩拧紧在总成上，按照总成零件的技术标准，对总成进行疲劳性能检验。

7.3.3 总成高温台架试验

紧固件除满足本身的高温测试外，通常还需对其连接的总成零件进行连接的功能性验证，常规做法是将紧固件按照设定扭矩拧紧总成子零件，并对总成零件进行特定的高温或高低温循环等台架验证，以此检验连接在预设的高温环境下的稳定性和可靠性。

7.3.4 高温台架试验后紧固件拆卸扭矩测试

在高温下因表面处理层的破坏，紧固件和接触零件常发生烧结，黏连等现象，导致紧固件拆解扭矩急剧增大甚至拆解扭矩超过紧固件扭转屈服强度发生断裂等失效，需要测试高温台架试验后紧固件拆卸扭矩，保证其拆解扭矩不超过一定范围，以保证零件的返修性和售后维修性。

7.3.5 高温台架试验后的紧固件力学及金相分析

对高温台架试验后的紧固件，检测其力学性能，如抗拉强度、硬度等，及微观组织，可用于补充评价材料的服役稳定性。

7.4 整车路试验证

高温连接紧固件主要装配在汽车发动机排气歧管、涡轮增压器和三元催化器等重要部位，其失效往往引发较严重的功能甚至安全问题。根据供需双方协议，并在合同中注明，紧固件需搭载整车路试验证，并在规定的里程或年限验证周期内，满足使用寿命和可重复拆装的要求，以及协议或合同中的相关技术条款。

8 标识标记及包装交货

高温连接紧固件产品应有制造者识别标志，并按照 GB/T 3098.8 中表 2 的规定，制出制造者识别标志和材料的缩写，对于未在表中有明确标识的材料牌号，其缩写可以由供需双方协商并在合同中注明。

高温连接紧固件成品需采用干净的有盖塑料箱或纸箱，内袋用可密封的塑料袋包裹，并在外包装的明显可见位置注明零件号、零件名称、供货商名称、生产日期、净含量等必要信息，内外包装的规格、材料按照供需双方协议，并在合同中注明。紧固件应成批交货，每批由同一炉号、同一牌号、同一规格和同一热处理炉次的产品组成。每批产品的检验项目按表 6 执行，检测报告随货交付需方。

表 6 交货检验项目清单

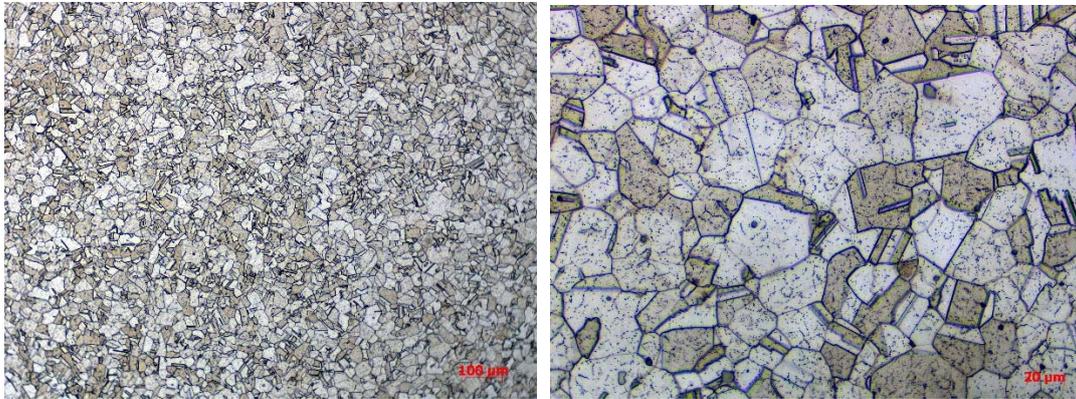
序号	检验项目	取样数量	取样依据	试验方法或依据
1	原材料性能	1 个/批号	每卷钢丝线材	T/CSAE 99 或原材料质保书
2	强度、保载性能	5 个/批号	每批任意成品	GB/T 3098
3	金相组织	2 个/批号	每批任意成品	GB/T 34895
4	尺寸	2 个/批号	每批任意成品	专用量具、投影、金相
5	镀层/涂层厚度	2 个/批号	每批任意成品	磁性测厚仪、X 射线、金相
6	外观、止通	10 个/批号	每批任意成品	通止规、专用量具
7	摩擦系数	10 个/批号	每批任意成品	T/CASE 74
8	盐雾试验	3 个/批号	任意批次成品	GB/T 10125 或合同约定
9	禁限用物质	10 个	任意批次成品	GB/T 30512
10	高温拉伸	1 个/批号	每批任意成品	本技术标准
11	高温持久	1 个/批号	每批任意成品	本技术标准

9 其它要求

螺栓、螺钉、螺柱与螺母的配合选择应满足制造原材料的一致性，按照 GB/T 3098.8 的规定，螺母和与之配合的螺栓、螺钉、螺柱原材料强度比值应大于 0.7，以免发生高温松弛。

以沉淀硬化型不锈钢为原材料的紧固件，在生产加工过程和使用中应避免与氯化物的接触，氯化物可能导致紧固件产生应力腐蚀，从而带来失效风险。

附录 A
(资料性附录)
典型的高温连接紧固件金相组织

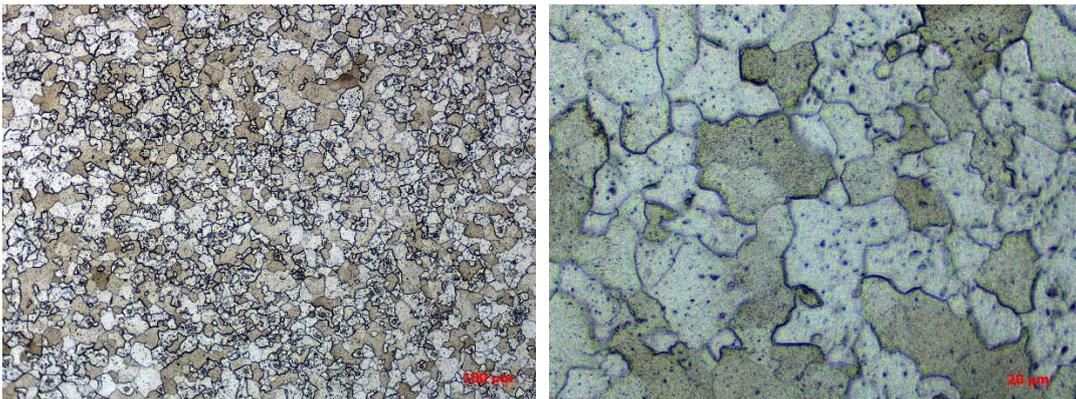


200×

500×

ML06Cr15Ni25Ti2MoAlVB

图 1 固溶+时效处理，王水腐蚀

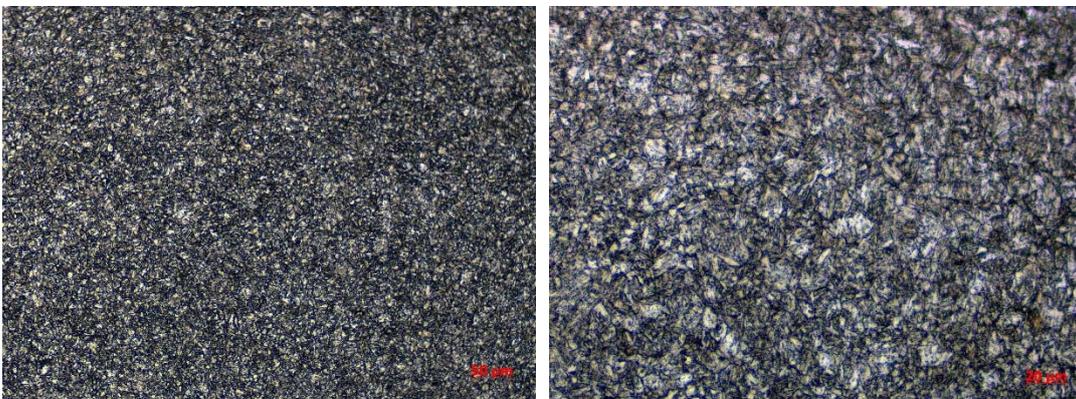


200×

500×

ML04Cr11Nb

图 2 退火处理，王水腐蚀

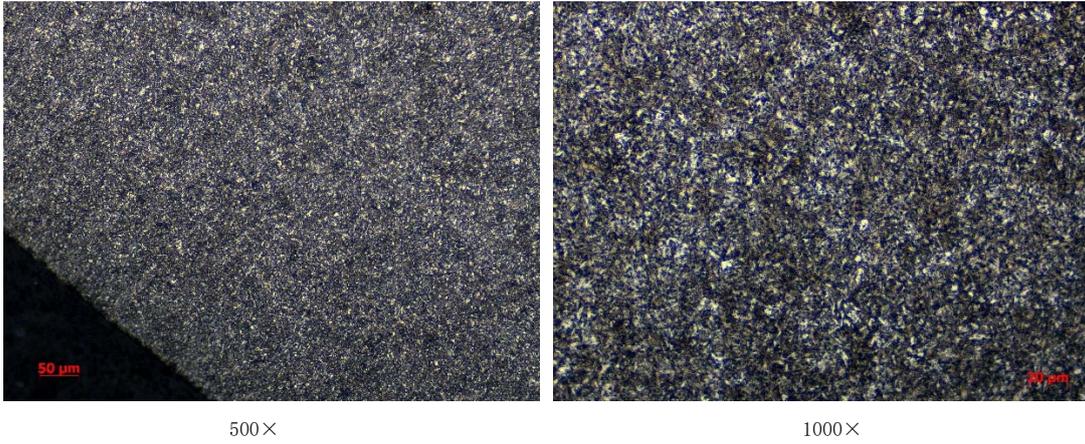


500×

1000×

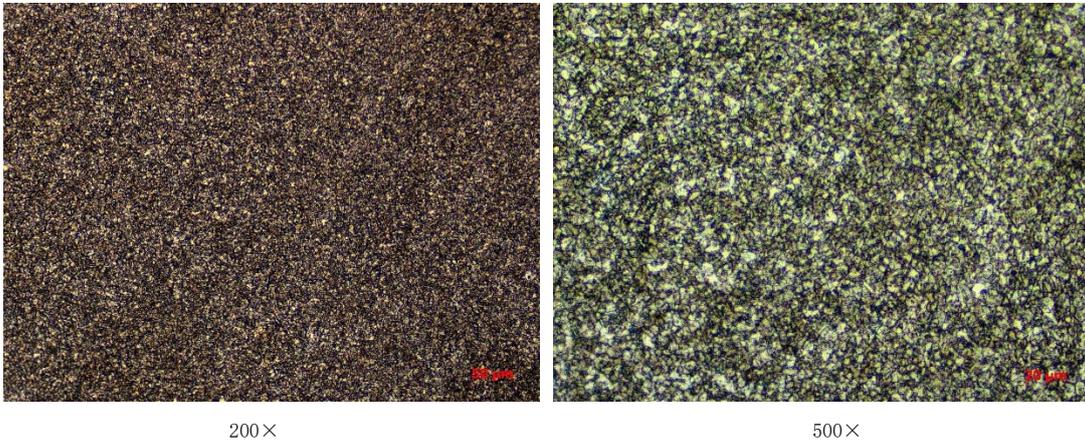
ML21CrMoV

图 3 淬火+回火处理，4%硝酸酒精溶液腐蚀



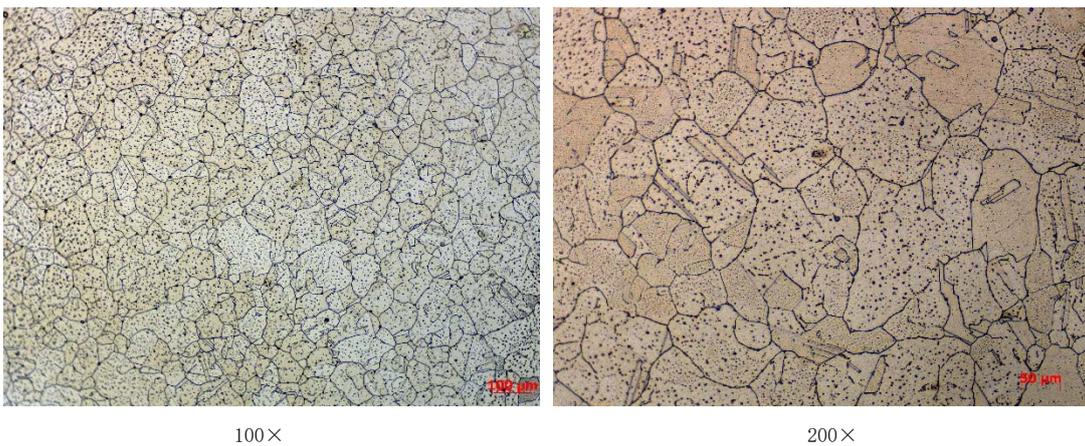
ML41CrMoV

图4 淬火+回火处理, 4%硝酸酒精溶液腐蚀



1Cr17Ni2

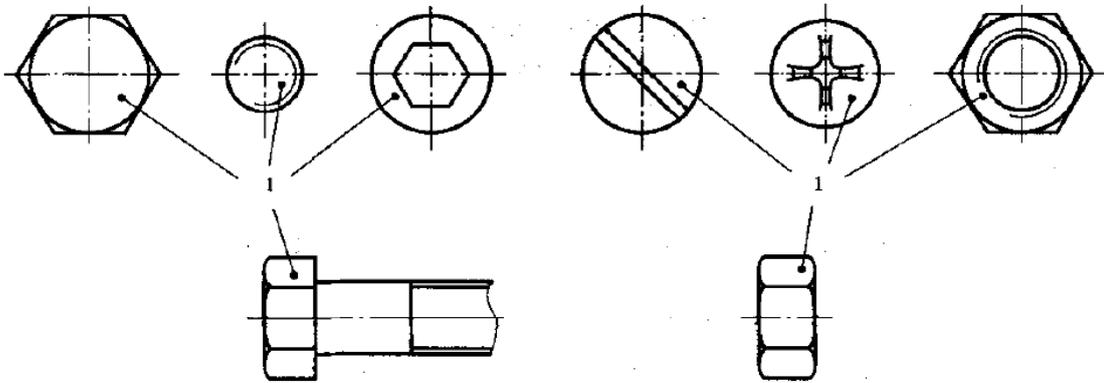
图5 淬火+回火处理, 王水腐蚀



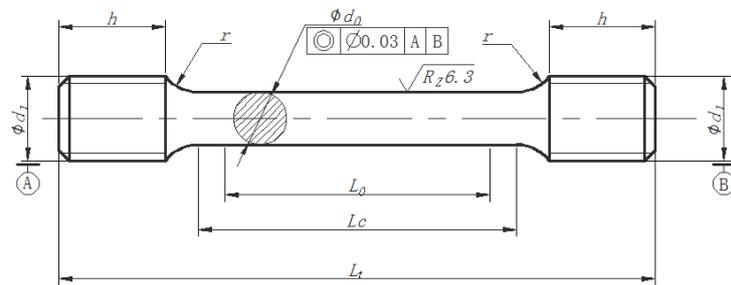
NiCr20TiAl

图6 固溶+时效处理, 王水腐蚀

附录 B
(资料性附录)
涂镀层检测位置示意图



附录 C
(资料性附录)
高温试验紧固件圆形光滑随炉试棒示意图



d_0	L_0	d_1	r 最小	h 最小	L_c 最小	L_t 最小
4	20	M8	3	6	24	41
5	25	M10	4	7	30	51
6	30	M12	5	8	36	60
8	40	M14	6	10	48	77
10	50	M16	8	12	60	97
12	60	M18	9	15	72	116
14	70	M20	11	17	84	134
16	80	M24	12	20	96	154
18	90	M27	14	22	108	173
20	100	M30	15	24	120	191
25	125	M33	20	30	150	234

当过渡圆弧 r ，夹持端长度 h 和平行长度 L_c 为最小值时， L_t 亦为最小值。