



中华人民共和国国家标准

GB/T 38820—2020

抗辐照耐热钢

Irradiation-resistant and heat-resistant steels

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 订货内容 2

5 尺寸、外形和重量..... 3

6 技术要求 3

7 试验方法 5

8 检验规则 7

9 包装、标志和质量证明书..... 8

附录 A（资料性附录） 抗辐照耐热钢的物理性能 9

附录 B（规范性附录） 中子辐照性能检测方法 10



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准主要起草单位:中国科学院合肥物质科学研究院(中国科学院核能安全技术研究所)、冶金工业信息标准研究院、中国科学院金属研究所、攀钢集团江油长城特殊钢有限公司、抚顺特殊钢股份有限公司。

本标准主要起草人:黄群英、黄波、栾燕、李春京、刘少军、毛小东、吴宜灿、单以银、余志川、卢伦。



抗 辐 照 耐 热 钢

1 范围

本标准规定了抗辐照耐热钢的术语和定义、订货内容、尺寸、外形、重量、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。

本标准适用于核工业用直径不大于 150 mm 的热轧和锻制棒材(以下简称钢棒)。

本标准规定的牌号及化学成分亦适用于钢锭、钢坯及其制品。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 222 钢的成品化学成分允许偏差

GB/T 223.5 钢铁 酸溶硅和全硅含量的测定 还原型硅钼酸盐分光光度法

GB/T 223.11 钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法

GB/T 223.14 钢铁及合金化学分析方法 钼试剂萃取光度法测定钒含量

GB/T 223.21 钢铁及合金化学分析方法 5-C1-PADAB 分光光度法测定钴量

GB/T 223.26 钢铁及合金 钼含量的测定 硫氰酸盐分光光度法

GB/T 223.31 钢铁及合金 砷含量的测定 蒸馏分离-钼蓝分光光度法

GB/T 223.42 钢铁及合金化学分析方法 离子交换分离-溴邻苯三酚红光度法测定钽量

GB/T 223.43 钢铁及合金 钨含量的测定 重量法和分光光度法

GB/T 223.47 钢铁及合金化学分析方法 载体沉淀-钼蓝光度法测定铈量

GB/T 223.53 钢铁及合金化学分析方法 火焰原子吸收分光光度法测定铜量

GB/T 223.54 钢铁及合金化学分析方法 火焰原子吸收分光光度法测定镍量

GB/T 223.60 钢铁及合金化学分析方法 高氯酸脱水重量法测定硅含量

GB/T 223.62 钢铁及合金化学分析方法 乙酸丁酯萃取光度法测定磷量

GB/T 223.63 钢铁及合金化学分析方法 高碘酸钠(钾)光度法测定锰量

GB/T 223.67 钢铁及合金 硫含量的测定 次甲基蓝分光光度法

GB/T 223.75 钢铁及合金 硼含量的测定 甲醇蒸馏-姜黄素光度法

GB/T 223.81 钢铁及合金 总铝和总硼含量的测定 微波消解-电感耦合等离子体质谱法

GB/T 223.84 钢铁及合金 钛含量的量测定 二安替比林甲烷分光光度法

GB/T 223.86 钢铁及合金 总碳含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法

GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法

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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法

GB/T 351 金属材料 电阻率测量方法

GB/T 702 热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差

- GB/T 908 锻制钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法
GB/T 2101 型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
GB/T 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备
GB/T 3217 永磁(硬磁)材料 磁性试验方法
GB/T 3651 金属高温导热系数测量方法
GB/T 3850 致密烧结金属材料与硬质合金 密度测定方法
GB/T 4067 金属材料电阻温度特征参数的测定
GB/T 4339 金属材料热膨胀特征参数的测定
GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法
GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
GB/T 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)
GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融导热法(常规方法)
GB/T 20127.1 钢铁及合金 痕量元素的测定 第1部分:石墨炉原子吸收光谱法测定银含量
GB/T 20127.13 钢铁及合金 痕量元素的测定 第13部分:碘化物萃取-苯基荧光酮光度法测定锡含量
GB/T 22315 金属材料 弹性模量和泊松比试验方法
GB/T 22368 低合金钢 多元素含量的测定 辉光放电原子发射光谱法(常规法)
GB/T 22588 闪光法测量热扩散系数或导热系数
GB/T 36026—2018 油气工程用高强度耐蚀合金棒
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测
YB/T 4395 钢 钼、铌和钨含量测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法
YB/T 4402 马氏体不锈钢中 δ 铁素体含量金相测定法
YS/T 1256 有色金属材料 比热容试验 差示扫描量热法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

抗辐照耐热钢 irradiation-resistant and heat-resistant steels

经中子辐照后,具有较好的断后延伸率和低的肿胀率,在高温环境中保持较高持久强度、抗蠕变性和良好的化学稳定性,并具有低活化特性的合金钢。

注:低活化特性,即经中子辐照后其放射性主要来自短寿命或中等寿命的放射性元素。

4 订货内容

按本标准订货的合同或订单至少应包括下列内容:

- a) 本标准编号;
- b) 产品名称;

- c) 牌号；
- d) 冶炼方法；
- e) 尺寸及允许偏差(见第 5 章)；
- f) 订购重量；
- g) 交货状态(必要时,见 6.3.2)；
- h) 低倍组织合格级别(见 6.5)；
- i) 超声检测合格级别(见 6.9)；
- j) 特殊要求(必要时,见 6.11)。

5 尺寸、外形和重量

- 5.1 热轧钢棒的尺寸、外形、重量及其允许偏差应符合 GB/T 702 的规定,具体要求应在合同中注明。
- 5.2 锻制钢棒的尺寸、外形、重量及其允许偏差应符合 GB/T 908 的规定,具体要求应在合同中注明。

6 技术要求

6.1 牌号及化学成分

- 6.1.1 钢的牌号、代号及化学成分(熔炼分析)应符合表 1 的规定,其成品化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 的规定。
- 6.1.2 钢棒中主要易活化元素的含量控制要求应符合表 2 的规定,氧含量应不大于 0.003%,氮含量不大于 0.005%。

表 1 钢的牌号及化学成分

牌号	代号	化学成分(质量分数)/%									
		C	Cr	W	V	Ta	Mn	Si	Ti	S	P
10Cr9W1VTa	CLAM	0.08~0.12	8.5~9.5	1.2~1.8	0.15~0.25	0.10~0.20	0.30~0.60	≤0.05	≤0.01	≤0.005	≤0.005
20Cr11W2VTaSi	SIMP	0.14~0.25	10.0~12.0	1.0~2.0	0.15~0.30	0.10~0.20	≤1.0	1.0~2.0	≤0.01	≤0.005	≤0.005

表 2 钢中主要易活化元素的含量控制要求

化学成分(质量分数)/%,不大于										
Al	Co	Ni	Cu	B	Mo	Nb	As	Sn	Sb	Ag
0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005

6.2 冶炼方法

钢应采用真空感应熔炼加真空电弧重熔冶炼。经供需双方协商,并在合同中注明,也可采用满足要求的其他冶炼方法。

6.3 交货状态

- 6.3.1 钢棒通常以退火态交货。
- 6.3.2 经供需双方协商,并在合同中注明,钢棒表面可经磨光、剥皮或其他精整方法交货。

6.4 力学性能

- 6.4.1 钢棒的交货硬度应不大于 HBW 269。
- 6.4.2 钢棒试样毛坯(直径为 25 mm)按表 3 推荐的制度进行热处理,其纵向力学性能和蠕变性能应分别符合表 3 和表 4 的规定。

表 3 钢棒的力学性能

牌号	代号	推荐热处理制度	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa,不小于				抗拉强度 R_m /MPa,不小于				冲击吸收能量 ^a KV_2 /J,不小于	
			温度/℃				温度/℃				温度/℃	
			20	450	550	600	20	450	550	600	20	—20
10Cr9W1VTa	CLAM	950℃~1 050℃ 保温后喷雾冷却 或空冷 720℃~800℃保 温后空冷	510	400	310	230	600	450	350	300	200	150
20Cr11W2VTaSi	SIMP	1 000℃~1 100℃ 保温后空冷 720℃~800℃保 温后空冷	550	420	320	230	800	500	400	320	120	30
^a 三个试样的平均值,允许一个试样的单值低于规定值,但不低于规定值的 70%。												

表 4 钢棒的蠕变性能

牌号	代号	试验温度和应力	蠕变断裂时间/h,不小于
10Cr9W1VTa	CLAM	550℃,185 MPa	10 000
		600℃,135 MPa	1 000
20Cr11W2VTaSi	SIMP	550℃,215 MPa	1 000
		600℃,120 MPa	10 000

6.5 低倍组织

钢棒的低倍缺陷应按 GB/T 36026—2018 中附录 A 进行评定,其合格级别由供需双方协商确定,并在合同中注明。

6.6 显微组织

钢棒试样毛坯经表 3 推荐的制度进行热处理后,其显微组织为高温回火马氏体,且不应有 δ 铁

素体。

6.7 晶粒度

钢棒试样毛坯经表 3 推荐的制度进行热处理后,奥氏体晶粒度为 8 级或更细。

6.8 辐照性能

经中子辐照后,钢棒的辐照性能应符合表 5 的规定。

表 5 经中子辐照后钢棒的辐照性能

辐照剂量 ^a / dpa	辐照温度 ^b $T_{\text{irr}}/^{\circ}\text{C}$	规定塑性延伸强度增加值 $\Delta R_{p0.2}/\text{MPa}$,不大于	抗拉强度增加值 $\Delta R_m/\text{MPa}$,不大于	断后总延伸率 $A/\%$,不小于	肿胀率 $S/\%$,不大于
		测试温度 $T_{\text{test}} = \text{辐照温度 } T_{\text{irr}}$			
0~1	300	50	30	10	0.05
>1~3	300	300	250	8	0.10
>3~10	300	450	350	5	0.20
>10~20	300	550	450	2	0.50
^a 辐照剂量 0 dpa~10 dpa 的偏差为±0.5 dpa,10 dpa~20 dpa 的偏差为±1.0 dpa。 ^b 辐照温度偏差在±20 ℃。					

6.9 超声检测

钢棒应按 NB/T 47013.3 进行超声检测,其合格级别由供需双方协商确定,并在合同中注明。

6.10 表面质量

6.10.1 钢棒的表面不应有目视可见的裂纹、结疤、折叠及夹杂。若有上述缺陷存在,允许局部清理,清理深度从钢棒实际尺寸算起,不应超过钢棒公差之半,清除宽度不小于深度的 5 倍,同一截面达到最大清除深度不应多于 1 处。允许有从实际尺寸算起不超过尺寸公差之半的个别细小划痕、压痕、麻点及深度不超过 0.2 mm 的小裂纹存在。缺陷清理处应平滑无棱角。

6.10.2 以磨光或剥皮状态交货的钢棒表面应洁净、光滑,不应有裂纹、折叠、结疤和氧化铁皮,若有上述缺陷存在,允许局部修磨,但最大修磨处应保证钢棒的最小尺寸。

6.11 特殊要求

根据需方要求,经供需双方协商,并在合同中注明,钢棒可进行物理性能(参见附录 A)、非金属夹杂物、维氏硬度、(辐照前)冲击吸收能量-温度曲线、其他无损检测等项目的检验。

7 试验方法

7.1 钢棒的检验项目和试验方法应符合表 6 的规定。

7.2 化学成分分析通常按照 GB/T 22368、GB/T 11170 等通用方法进行。仲裁时按 GB/T 223.5、GB/T 223.11、GB/T 223.14、GB/T 223.21、GB/T 223.26、GB/T 223.31、GB/T 223.53、GB/T 223.54、GB/T 223.60、GB/T 223.62、GB/T 223.63、GB/T 223.67、GB/T 223.75、GB/T 223.81、GB/T 223.84、GB/T 223.86 和 GB/T 20127.13。

7.3 钽、钨、铋、银、氧和氮的含量检测分别执行 GB/T 223.42、GB/T 223.43、GB/T 223.47、GB/T 20127.1、GB/T 11261、GB/T 20124 和 YB/T 4395。

表 6 检验项目、检验类型、取样数量和取样部位、试验方法

序号	检验项目		检验分类		取样数量	取样部位	试验方法
			出厂检验	型式检验			
1	化学成分		●	●	1 个/炉	GB/T 20066	见 7.2, 7.3
2	低 倍		●	●	2 个	相应于钢锭头、尾部的钢棒各 1 个	GB/T 226 GB/T 36026—2018
3	布氏硬度		●	●	3 个	不同钢棒上	GB/T 231.1
4	非金属夹杂物		○	●	2 个	不同钢棒上	GB/T 10561
5	显微组织		●	●	3 个	不同钢棒上	YB/T 4402
6	晶粒度		●	●	3 个		GB/T 6394
7	维氏硬度		○	●	3 个		GB/T 4340.1
8	拉 伸		●	●	每批每个温度 1 个	任一钢棒上 GB/T 2975	GB/T 228.1、 GB/T 228.2
9	冲 击		●	●	每批每个温度 3 个		GB/T 229
10	蠕变		—	●	每个温度和应力 2 个		GB/T 2039
11	辐照性能	拉 伸	—	●	辐照前 2 个, 辐照后		见附录 B
12		肿胀率	—	●	每个剂量 2 个		
13		冲击吸收能量-温度曲线	○ (辐照前)	●	辐照前每个温度 3 个; 辐照后每个剂量下每个温度 3 个		
14	物理性能	密度	○	●	1 个	任一钢棒上	GB/T 3850
15		比热	○	●	每批每个温度 3 个		YS/T 1256
16		热扩散系数	○	●	每批每个温度 3 个		GB/T 22588
17		热膨胀率	○	●	每个温度 3 个		GB/T 4339
18		热导率	○	●	每个温度 3 个		GB/T 3651
19		杨氏模量	○	●	1 个		GB/T 22315
20		泊松比	○	●	1 个		GB/T 22315
21		电阻率	○	●	每个温度 3 个		GB/T 351、 GB/T 4067
22		饱和磁化强度	○	●	每个温度 3 个		GB/T 3217
23		相对磁导率	○	●	每个温度 3 个		GB/T 3217
24	超声检测		●	●	逐支	—	NB/T 47013.3
25	表面质量		●	●	逐支	—	目视

注：●必检项目；○供需双方协商检验项目；—无此项目。

8 检验规则

8.1 检查和验收

钢棒的检查和验收由供方技术监督部门进行。必要时,需方有权对本标准或合同中所规定的任一检验项目进行检查和验收。

8.2 检验分类

钢棒的检验分为型式检验和出厂检验。

8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一者,应进行型式检验:

- a) 新产品定型鉴定;
- b) 材料成分、制备工艺有较大改变时;
- c) 合同要求时。

8.3.2 型式检验项目、取样数量、取样部位和试验方法见表 6。

8.3.3 所有检验的结果均符合第 6 章的要求,则型式检验通过。

8.4 出厂检验

8.4.1 组批规则

钢棒应成批提交检验与验收每批由同一牌号、同一炉号、同一加工方法、同一尺寸、同一交货状态钢棒组成。

8.4.2 取样数量和取样部位

钢棒的取样数量和取样部位应符合表 6 的规定。

8.4.3 复验与判定规则

8.4.3.1 化学成分不合格时,允许重新取样对不合格元素进行分析,复验结果若有一个元素不合格,则该炉钢棒判为不合格。

8.4.3.2 拉伸、非金属夹杂物、晶粒度、布氏硬度、维氏硬度某项试验结果不合格时,允许从该批钢棒(包括原检验不合格的钢棒)中取双倍数量的试样对不合格项目进行复验,复验结果若有一个试样不合格,则该批钢棒判为不合格。

8.4.3.3 冲击试验结果不合格时,允许从该批钢棒再取两支钢棒(包括原检验不合格的钢棒),在每支钢棒上各取一组 3 个试样,这两组试样的试验结果,若有一组不符合表 3 的规定,则该批钢棒判为不合格。

8.4.3.4 低倍检验不合格时,允许从该批钢棒中取双倍的试样进行复验(白点除外),复验结果若有一个试样不合格,则该批钢棒判为不合格,但对缩孔残余等有规律性的缺陷允许供方切除处理后进行复验。

8.4.3.5 超声检测、尺寸、外形、表面质量不合格时,则该支判为不合格。对于尺寸、外形、表面质量检验不合格的钢棒允许供方重新逐支修理、矫直或研磨,重新检验,合格者交货。

8.4.3.6 供方若能保证钢棒合格时,对同一批钢棒或钢坯的力学性能、低倍、非金属夹杂物的检验结果,允许以坯代材,以大代小。

8.4.3.7 钢棒的检测和检验结果应采用修约值比较法修约到与规定值本位数字所标识的数位相一致,其修约规则应符合 GB/T 8170 的规定。

9 包装、标志和质量证明书

钢棒的包装、标志和质量证明书应符合 GB/T 2101 的规定。



附录 A
(资料性附录)
抗辐照耐热钢的物理性能

表 A.1 给出了抗辐照耐热钢的物理性能。



表 A.1 抗辐照耐热钢的物理性能

牌号	代号	密度 g/cm ³	杨氏模量 GPa	泊松比	比热容 J/(kg·℃)	热导率 W/(m·℃)	热扩散系数 10 ⁻⁶ m ² /s	热膨胀率 10 ⁻⁶ /℃	电阻率 10 ⁻⁵ Ω·cm	饱和磁化强度 Gs	相对磁导率
10Cr9W1VTa	CLAM	7.8	210~220	0.29~0.30	440~810	27~30	4.4~8.3	9.0~14.1	2.3~4.6	12~16	3.4~4.2
20Cr11W2VTaSi	SIMP	7.8	210~230	0.30~0.31	450~800	20~30	4.0~6.5	9.0~13.0	—	—	—
密度、杨氏模量和泊松比的测试温度为室温。 热和电磁物理性能的测试温度范围为室温至 600℃。											

附 录 B
(规范性附录)
中子辐照性能检测方法

B.1 试验要求

中子辐照后的放射性试样检测需在具备相应辐射安全屏蔽能力的热室中进行,试验要求如下:

- a) 试样:中子辐照前后性能对比的试样采用同批次材料和相同尺寸规格,并执行相同的测试标准和要求;
- b) 试验许可:准备详细试验方案,包括材料种类、检测内容、检测过程中的辐射安全分析等,经过管理部门评估许可后,方可进行试验。

B.2 检测方法及要求

B.2.1 拉伸试验

B.2.1.1 拉伸试样图见图 B.1。

单位为毫米

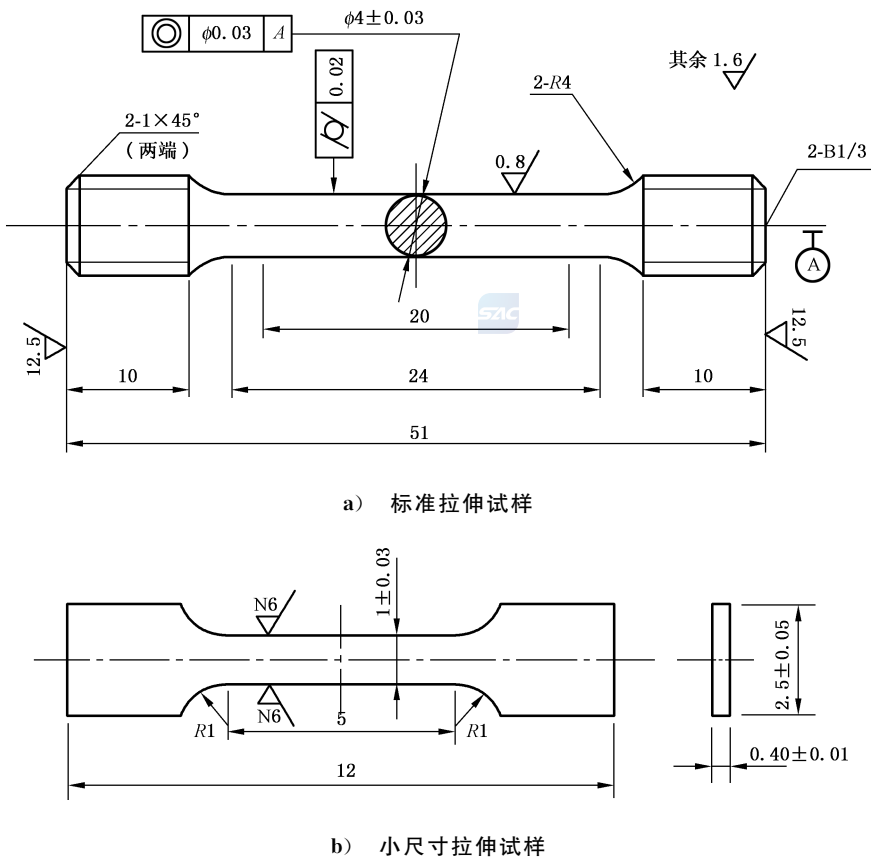


图 B.1 机加工拉伸试样

B.2.1.2 室温和高温拉伸试验分别按 GB/T 228.1 和 GB/T 228.2 执行,推荐的拉伸速率为 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 。

B.2.1.3 开始拉伸试样的中子辐照试验前,要先预留好未辐照的拉伸试样。中子辐照后,在同一设备上 进行未辐照试样和辐照后试样的拉伸试验,获得中子辐照后材料的断后总延伸率、屈服强度和抗拉强度,同时通过与未辐照材料的屈服强度和抗拉强度对比,获得辐照后材料的屈服强度增加值和抗拉强度增加值。

B.2.2 冲击吸收能量-温度曲线

B.2.2.1 冲击试样图见图 B.2。

单位为毫米

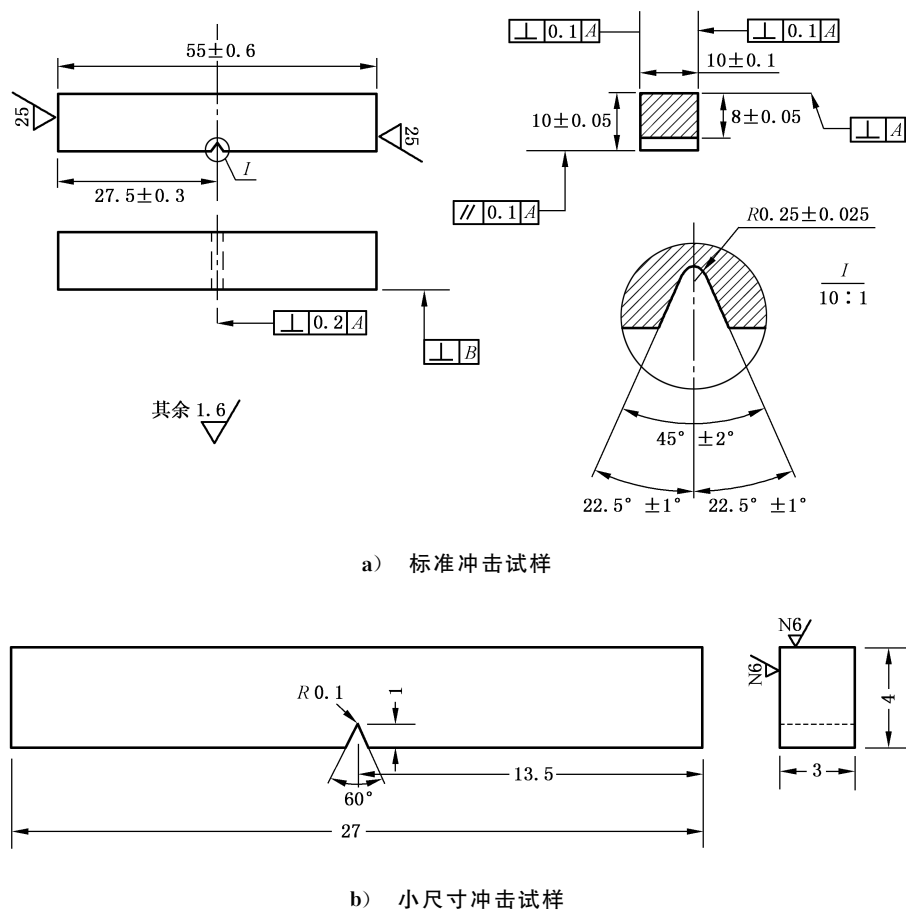
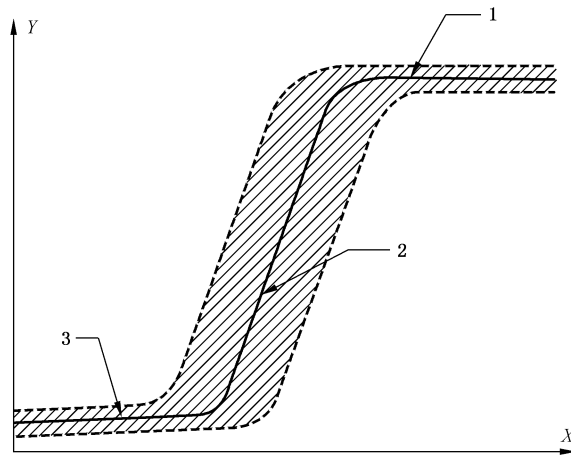


图 B.2 机加工冲击试样

B.2.2.2 冲击试验按 GB/T 229 执行。

B.2.2.3 开始冲击试样的中子辐照试验前,要先预留好未辐照的冲击试样。中子辐照后,在同一设备上 进行未辐照试样和辐照后试样的冲击试验。通过拟合不同温度下的冲击吸收能量值,分别获得未辐照材料和辐照后材料的冲击吸收能量与温度曲线($K-T$ 曲线),曲线具有上平台区(1),转变区(2)和下平台区(3),见图 B.3。一般取上平台冲击吸收能量值的一半所对应的温度,或上平台冲击吸收能量值和下平台冲击吸收能量值的平均值对应的温度为韧脆转变温度,通过对比未辐照材料和辐照后材料的韧脆转变温度,获得辐照后材料的韧脆转变温度增加值。



说明：

- X —— 温度,单位为摄氏度(℃);
 Y —— 冲击吸收能量,单位为焦耳(J);
 1 —— 上平台区;
 2 —— 转变区;
 3 —— 下平台区。

图 B.3 冲击吸收能量-温度曲线示意图

B.2.3 肿胀率试验

B.2.3.1 肿胀率试样见图 B.4。

单位为毫米

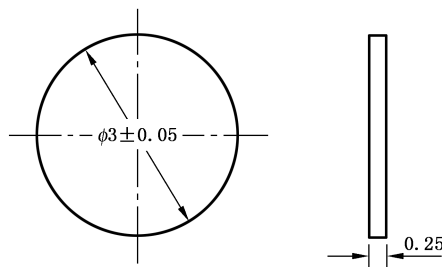


图 B.4 肿胀率试样

B.2.3.2 通过测量试样辐照前的密度 d_1 和试样辐照后的密度 d_2 ,利用式(B.1)计算辐照产生的肿胀率 S ;

$$S = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- S —— 肿胀率,%;
 d_1 —— 试样辐照前的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3);
 d_2 —— 试样辐照后的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

B.2.3.3 试样辐照前的密度 d_1 测试方法如下：

- 测量试样在空气中的质量 m_1 。
- 测量试样在水中的质量 m_2 。

c) 根据式(B.2)计算试样的体积 V_1 :

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{\rho_0}$$

..... (B.2)

式中：
 V_1 ——试样的体积,单位为立方厘米(cm^3)；
 m_1 ——试样在空气中的质量,单位为克(g)；
 m_2 ——试样在水中的质量,单位为克(g)；
 ρ_0 ——测试温度下水的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

d) 根据式(B.3),计算得到试样辐照前的密度 d_1 :

$$d_1 = \frac{m_1}{V_1}$$

..... (B.3)

式中：
 d_1 ——试样辐照前的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3)；
 m_1 ——试样在空气中的质量,单位为克(g)；
 V_1 ——试样的体积,单位为立方厘米(cm^3)。

B.2.3.4 试样辐照后的密度 d_2 测试方法同 B.2.3.3。

B.2.4 检测报告

检测报告至少应包括以下内容：

- a) 试验类别；
- b) 试样编号；
- c) 设备型号；
- d) 试验条件；
- e) 测试结果；
- f) 检测人员；
- g) 检测日期。
