

HB

中华人民共和国航空航天工业部 航空工业标准

HB/Z 191—91

航空结构钢不锈钢 真空热处理说明书

1991—06—18 发布

1991—10—01 实施

中华人民共和国航空航天工业部 批准

目 次

1	主题内容与适用范围	(1)
2	引用标准	(1)
3	术语	(1)
4	真空热处理类别	(2)
5	设备控制	(2)
6	工艺材料控制	(3)
7	生产过程控制	(4)
8	质量控制与检验	(7)
9	设备的使用与维护	(8)
附录 A	加热滞后时间的测定方法(补充件)	(9)
附录 B	脱碳、增碳、增氮、晶间氧化的检验方法(参考件)	(11)
附录 C	硬度换算表(参考件)	(14)

航空结构钢不锈钢
真空热处理说明书

HB/Z 191—91

1 主题内容与适用范围

本标准规定了航空产品用结构钢、不锈钢的真空热处理类别、设备控制、工艺材料控制、生产过程控制、质量控制与检验、设备使用与维护等有关要求。

本标准适用于航空结构钢、不锈钢零件在冷壁辐射加热真空炉中进行的真空热处理。在其它类型真空炉中进行的真空热处理也可参照使用本标准。

2 引用标准

GB 4002	工业电热设备基本条件
GB 2479	白刚玉技术条件
HB/Z 136	航空结构钢热处理说明书
HB/Z 80	航空用不锈钢、耐热钢热处理说明书
HB 5013	热处理零件检验类别
HB 5143	金属室温拉伸试验方法
HB 5144	金属室温冲击韧性试验方法
HB 5168	金属布氏硬度试验方法
HB 5172	金属洛氏硬度试验方法
HB 5173	金属维氏硬度试验方法
HB 5354	航空制件热处理质量控制标准
HB 5408	热处理用工业硝酸钾
HB 5412	热处理用氩气
HB 5413	热处理用氮气
HB 5415	热处理淬火用油
HB 5425	航空制件热处理炉有效加热区测定方法

3 术语

3.1 真空压强

真空状态下残余气体的压强。

3.2 真空工作压强

零件在真空或分压下进行加热的工作压强。

3.3 加热滞后时间

零件与炉膛到达预定加热温度的时间差。

4 真空热处理类别

4.1 航空结构钢的真空热处理类别如下：

- a. 真空淬火(真空油淬、真空气淬、真空水淬、真空等温淬火)；
- b. 真空正火；
- c. 真空退火；
- d. 真空回火。

4.2 航空不锈钢的真空热处理类别如下：

- a. 真空淬火或真空固溶处理(真空油冷、真空水冷、真空气冷)；
- b. 真空正火；
- c. 真空退火；
- d. 真空回火或时效。

5 设备控制

5.1 真空加热设备

5.1.1 真空炉一般应为冷壁辐射加热式。

5.1.2 真空炉的分类与一般要求、温度测量设备与热电偶的要求、炉温控制档案的建立均应符合 HB 5354 的有关规定。

5.1.3 真空炉的炉温均匀性检验应在真空压强小于 13.3Pa 的状态下进行。其检验方法应符合 HB 5425 的有关规定。

5.1.4 真空炉空炉冷态的压升率一般应小于 0.67Pa/h。使用较久的真空炉的压升率不应大于 1.33Pa/h。压升率的检验应按 GB 4002 的规定执行。压升率的检定周期规定如下：

- a. 在连续使用的情况下每月一次；
- b. 设备大修后、更换密封元件后或长期未用重新使用前应及时进行检定。

5.1.5 真空炉应具有真空压强指示、记录及自动控制的装置。真空测量仪表的检验按计量部门的有关规定执行。

5.1.6 真空加热室所用结构材料不应真空热处理的零件产生有害的影响。

5.1.7 真空炉冷却水进口水压应大于 0.2MPa,流量应能调节,并备有报警及断水保护装置。冷却水进口水温为 5~35℃,出口水的温升不得超过 20℃。

5.1.8 用于真空气淬和真空回火的真空炉应具有快速充气装置、风扇搅拌和热交换装置。

5.1.9 真空炉的加热电极在通水的情况下对地绝缘电阻应大于 1kΩ。

5.1.10 在空炉并经干燥、除气的情况下,工作容积小于和等于 0.5m³ 的真空炉,应在 20min 内抽到规定的真空工作压强;工作容积大于 0.5m³ 的真空炉,应在 30min 内抽到规定的真空工作压强。

5.1.11 在真空工作压强下,空炉由室温升至炉子的最高工作温度的时间一般不大于 60min。

5.1.12 真空炉的淬火转移时间(由开启闸阀时起算到零件全部没入淬火介质中结束)一般不超过 25s。

5.1.13 真空炉及其辅助设备与各种仪表的工作环境应符合使用说明书的要求。

5.2 冷却设备

5.2.1 真空炉应根据需要装配固定的或可装卸的油槽、水槽、等温淬火槽、气冷槽。其容积应足够大,以保证在连续生产条件下具有足够的冷却能力。油槽、水槽、等温淬火槽的工作温度不得因零件的淬入而超过工艺温度或使用温度的上限。

5.2.2 淬火油槽、水槽、等温槽均应配备加热、冷却、测控温、超温报警及搅拌装置。

5.2.3 硝盐等温槽应配备专用机械泵抽真空。在抽真空系统中应有硝盐冷凝过滤装置。

5.3 清洗设备

5.3.1 清洗设备应满足零件清洗质量的要求。

5.3.2 凡对环境有污染或对操作人员身体健康有影响的清洗设备,应符合技安管理条例的规定。

5.3.3 凡有温度要求的清洗设备,均应配备分辨力小于或等于 5°C 的测温仪表。

6 工艺材料控制

6.1 冷却介质

6.1.1 真空淬火油

6.1.1.1 国产真空淬火油的技术要求应符合 HB 5415 的规定。使用过程中的真空淬火油应按 HB 5354 的规定进行定期化验。

6.1.1.2 应根据使用效果(淬火硬度和光亮度)或化验结果,对真空淬火油进行必要的调整或更换。

6.1.2 氮(氩)气

真空热处理所用氮气(纯度 $\geq 99.995\%$)、氩气(纯度 $\geq 99.99\%$)的技术要求应分别符合 HB 5413 与 HB 5412 的规定。不允许使用氮分解的氮气。

6.1.3 硝酸盐

6.1.3.1 真空等温淬火介质可采用成份为 55%硝酸钾+45%亚硝酸钠的混合硝酸盐。其技术要求与化验周期应符合 HB 5354 第 3.2.2 项表 11 的规定。

6.1.3.2 硝酸钾的技术指标应符合 HB 5408 的规定。

6.1.3.3 亚硝酸钠的技术指标应符合 HB 5354 的规定。

6.2 清洗剂

6.2.1 清洗剂的品种

真空热处理前后,零件可用下列清洗剂进行清洗(清洗剂不应与零件发生不良反应):

- a. 有机溶剂(含有机溶剂蒸气);
- b. 金属清洗剂(不推荐使用水溶性清洗剂)。

6.2.2 清洗剂的调整与更换

应根据清洗效果对清洗剂进行必要的调整或更换。

6.3 氧化铝粉

真空热处理用氧化铝粉的技术要求应符合 GB 2479 的规定。其粒度范围推荐为 W63~W5。

7 生产过程控制

7.1 准备操作

7.1.1 零件表面的原始状态

需进行真空热处理的零件表面不应有对零件和炉子产生有害影响的切屑、污物和低熔点涂镀层等。

7.1.2 零件与夹具的清理

零件以及随零件同炉处理的各种试样与夹具在真空热处理前均应进行清洗、烘(晾)干,表面不得留有油污和手印,内孔不得留有残油和清洗剂。

7.1.3 夹具处理

首次使用的夹具应预先在不低于零件的处理温度和不高于零件处理的真空工作压强下进行除气处理。

7.1.4 零件的放置与装夹

零件以及随炉处理的试样应散放在料筐内或吊挂在夹具上。叠放时,应在零件相互接触处用氧化铝粉隔离。绑扎零件所用铁丝应预先去掉镀层。

7.1.5 随炉试样

7.1.5.1 重要零件热处理时,应按 HB 5013 的规定,带有规定数量的与零件同炉材料的力学性能试样,随零件同炉处理。

7.1.5.2 重要零件热处理时,应按专用技术文件的规定,带有规定数量的与零件同炉材料的表面显微特征(脱碳、增碳、增氮、晶间氧化)检验试样,随零件同炉处理,但不回火。

7.2 热处理

7.2.1 预热

7.2.1.1 零件加热前,应将加热室真空压强抽至 13.3Pa 以下。

7.2.1.2 为避免裂纹和减少变形,下列任何类型的零件在正火、淬火或固溶处理加热时均应进行预热:

- a. 截面厚度变化大,有尖角或者形状复杂的零件;
- b. 不锈钢有效厚度大于或等于 30mm 的零件;
- c. 硬度大于或等于 HRC35 的零件;
- d. 名义含碳量大于或等于 0.4% 的零件。

7.2.1.3 当零件的材料、尺寸、形状或热处理工艺不会使零件产生裂纹或超过图纸规定的变形时,零件可在不超过工艺温度的上限的任何温度下入炉。

7.2.1.4 结构钢、不锈钢可以采取下列方式进行预热:

- a. 阶段升温;
- b. 650~700℃ 预热一次;

c. 650~700℃+850~900℃预热二次。

7.2.1.5 预热时间应保证炉内所有零件的截面到达预热温度。预热时间由实测决定或取真空淬火保温时间的0.5~1倍。

7.2.2 加热温度

结构钢、不锈钢的淬火、固溶处理、正火、退火、回火或时效的加热温度应分别按 HB/Z 136 和 HB/Z 80 的规定执行。

7.2.3 加热滞后时间

应按附录 A(补充件)规定的方法对零件在真空炉中的加热滞后时间进行实际测定。测定的结果用于确定零件在真空炉中加热的保温时间。

7.2.4 真空加热的保温时间

除非另有规定,零件真空加热的保温时间按下述方法确定:

a. 在实际测定了加热滞后时间的情况下,零件真空加热的保温时间等于实测的加热滞后时间加上表 1 规定的保温时间;

b. 在未实际测定加热滞后时间的情况下,零件的真空加热的保温时间应在表 1 规定的保温时间的基础上再增加 50%;

c. 若零件的加热是在 $7.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 以上的回充氮(氩)气的真空工作压强下进行,零件的真空加热的保温时间等于表 1 规定的保温时间。

零件的真空加热的保温时间均从仪表到温起算。

表 1 结构钢、不锈钢的保温时间

淬火(固溶)、正火、 退火保温时间	回火(时效)保温时间	
	$\leq 300^\circ\text{C}$	$> 300^\circ\text{C}$
25~30min + 2~3min/mm	120~180min + 1min/mm	40~60min + 2~3min/mm

注:①本表引自 HB/Z 136。

② $\leq 300^\circ\text{C}$ 的回火可不在真空炉中进行。

③本表中的保温时间均按有效厚度计算。散放时按单件的有效厚度进行计算,叠放时按叠放的有效厚度进行计算。

结构钢的保温时间取中下限,不锈钢的保温时间取中上限。

④计算保温时间还应考虑形状系数,零件的形状系数按 HB/Z 136 的规定执行。

7.2.5 加热室真空工作压强与气氛

加热室的真空工作压强与气氛要求列于表 2。

表 2 加热室真空工作压强与气氛要求

加热温度 $^\circ\text{C}$	真空工作压强 Pa	气氛要求
< 800	$13.3 \times 10^{-2} \sim 13.3$	残余空气、氮(氩)气
	> 13.3	氮(氩)气

续表 2

加热温度℃	真空工作压力 Pa	气氛要求
800~950	$13.3 \times 10^{-1} \sim 13.3$	残余空气、氮(氩)气
	>13.3	氮(氩)气
950~1050	$6.7 \sim 13.3$	残余空气、(氩)气
	>13.3	氮(氩)气
≥ 1050	>100	氮(氩)气

注:结构钢加热时可回充氮(氩)气。不锈钢加热时应回充氩气。

7.2.6 冷却

7.2.6.1 气冷(淬)

结构钢进行真空气冷(淬)时,可使用氮气或氩气。不锈钢进行气冷(淬)时,应使用氩气,一般不允许使用氮气。气冷(淬)时应用风扇进行搅拌使气体循环流动。气冷(淬)室(槽)应预先抽真空到 13.3Pa 以下。气冷(淬)的充气压强应根据工艺需要确定。一般应控制在 $7.5 \times 10^4\text{Pa}$ 左右。

7.2.6.2 油淬

7.2.6.2.1 真空油淬前,应通过加热、反复抽空与搅拌,将真空淬火油充分脱气及排除水份,其后真空压强应保持在 13.3Pa 以下。

7.2.6.2.2 油温应控制在 $20 \sim 90^\circ\text{C}$ 范围内。

7.2.6.2.3 淬火时油面压强一般应通过回充氮(氩)气控制在 $5 \times 10^4\text{Pa}$ 左右,并采取先充气后入油的方式进行淬火。对于淬透性较好的结构钢(如 40CrMnSiMoVA 、 40CrNiMoA 、 30CrMnSiNi2A 、 300M 钢等)以及马氏体不锈钢等,可以采取先入油后充气或不充气、或先充气后入油的方式进行淬火。采取先充气后入油的方式,充气压强可小于 $5 \times 10^4\text{Pa}$,一般控制在 $2.5 \times 10^4\text{Pa}$ 左右。采取先入油后充气方式,推荐充纯度较低的氮气或氩气,不宜充大气。

7.2.6.2.4 淬火时油槽一般应进行搅拌,使油循环流动。

7.2.6.3 硝盐等温淬火

7.2.6.3.1 新配制的硝盐熔液、或者补充新盐后的硝盐熔液、或者长期停放重新使用的硝盐熔液,在淬火前均应加热至高于实际使用温度进行反复抽空与搅拌,并用氮(氩)气洗炉 $1 \sim 3$ 次(每次充气使硝盐液面压强达到 $5 \times 10^4\text{Pa}$ 左右),使之充分脱气和排除水份。此后,硝盐液面的真空压强应保持在 133Pa 以下。

7.2.6.3.2 硝盐槽的工作温度应根据工艺要求确定。其温度均匀性应在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 的范围内。

7.2.6.3.3 淬火前硝盐液面压强应通过回充氮(氩)气控制在 $7.5 \times 10^4\text{Pa}$ 以上,并采取先充气后入硝盐熔液的方式进行淬火。零件淬火后,可回充纯度较低的氮(氩)气或者大气至一个大气压强,然后将硝盐槽转移到空气中继续进行等温。

7.2.6.3.4 淬火时硝盐槽一般应进行搅拌,使硝盐熔液循环流动。

7.2.6.4 水淬

7.2.6.4.1 真空水淬前,应通过抽空与搅拌(时间不宜过长),并用氮(氩)气洗炉 1~3 次(每次充气使水面压强达到 $5 \times 10^4 \text{Pa}$ 左右),使之充分脱气。此后,水面真空压强应保持在 133Pa 以下。

7.2.6.4.2 水槽的工作温度应根据工艺要求确定。

7.2.6.4.3 淬火前,水面压强应通过回充氮(氩)气控制在 $7.5 \times 10^4 \text{Pa}$ 以上,并采取先充气后入水的方式进行淬火。

7.2.6.4.4 淬火时水槽一般应进行搅拌,使水循环流动。

7.2.7 真空热处理的零件最大尺寸限制

对淬透性较低的钢种制成的零件,真空油淬的最大尺寸限制为普通油淬的最大尺寸限制的 75%。

7.2.8 淬火与回火之间的时间间隔

真空热处理零件的淬火与回火之间的时间间隔按有关标准或专用技术条件的规定执行。

7.2.9 重复热处理

真空热处理零件的重复热处理按有关标准或专用技术条件的规定执行。

7.2.10 原始记录档案

真空热处理全过程的记录与归档的要求应按 HB 5354 的规定执行。

7.2.11 操作人员

真空热处理操作人员的要求应符合 HB 5354 的规定。

8 质量控制与检验

8.1 质量控制

8.1.1 表面质量

真空热处理后零件的表面应光亮、无碰伤。

8.1.2 脱碳、增碳和增氮

8.1.2.1 除非另有规定,真空热处理后零件的表面不应有脱碳、增碳和增氮。随后有机加工工序可以去掉受影响的表面的零件不受此限制。

8.1.2.2 真空热处理后有喷丸工序的零件,允许脱碳层深度不超过 0.075mm。

8.1.2.3 禁止进行复碳处理。

8.1.3 晶间氧化

真空热处理后零件表面晶间氧化深度的要求应符合有关标准或专用技术条件的规定。

8.1.4 力学性能

结构钢、不锈钢零件的真空热处理的力学性能应满足有关技术标准、专用技术条件或图纸规定的要求。

8.1.5 变形

真空热处理后零件的变形应符合工艺文件规定的要求。必要时可进行校正和去应力回火。

8.2 检验

8.2.1 表面质量检验

真空热处理后零件的表面质量用目视检查。

8.2.2 脱碳、增碳、增氮和晶间氧化检验

脱碳、增碳、增氮和晶间氧化的检验推荐按附录 B(参考件)规定的方法进行。

抗拉强度低于 1520MPa 的零件的脱碳或增碳(氮)深度规定为由试样表面向内低于或高于心部硬度但不超过 HR 30N3 个单位处的垂直距离。HR 30N 的硬度值是由 HK(努氏)或显微维氏硬度实测结果换算得来的。

抗拉强度高于或等于 1520MPa 的零件的脱碳或增碳(氮)深度规定为由试样表面向内低于或高于心部硬度但不超过 HK(努氏)或显微维氏硬度 20 个单位处的垂直距离。

硬度换算关系见附录 C(参考件)表 C1。

8.2.3 力学性能检验

真空热处理试样的力学性能试验按 HB 5143、HB 5144、HB 5168、HB 5172、HB 5173 的规定进行。

8.2.4 变形检验

真空热处理后零件的变形按工艺文件规定的部位和方法进行检验。

9 设备的使用与维护

9.1 真空炉的使用与维护按炉子的操作使用说明书的规定进行。

9.2 双室或多室真空炉的隔热隔气阀应在闸阀两侧的压强接近平衡的条件下开启。必要时可充少量氮(氩)气进行调整。

9.3 真空炉的环境温度在冬季有可能降至零下时,在停炉期间应将真空炉冷却系统中的水放尽。

9.4 真空炉因检定不合格而不能用于生产时,应在显著位置挂上禁用牌。

9.5 真空炉在不使用期间,真空加热室和冷却室(槽)应处在真空状态下。

9.6 真空炉在进行油淬、水淬和等温淬火后,应及时清除炉壁、料筐及运载部件上面的油、水或硝盐。

9.7 应经常检查绝缘电阻,保证绝缘良好。

9.8 真空密封机构拆卸后应用汽油或酒精等清洗干净,干燥后涂上真空油脂才能重新组装和使用。

9.9 真空泵、真空阀门、各种仪表等均应按产品说明书规定的方法进行使用与维护。

9.10 真空泵的抽空能力下降时,应由专门人员进行拆洗或换油。

9.11 采用石墨和(或)钼作加热和(或)隔热元件的真空炉的加热室,当温度降至 120℃ 以下方可暴露于大气,当温度降至 350℃ 以下方可停泵关水。

9.12 真空炉储气罐应按国家劳动总局《气瓶安全监察规程》的规定进行定期检查。

9.13 真空炉检漏可用下列方法:

- a. 卤素检漏仪法;
- b. 氮质谱检漏计法;
- c. 用乙醚、酒精、丙酮等进行检查。

附录 A

加热滞后时间的测定方法

(补充件)

A1 试样材料和几何尺寸

应至少选取代表零件的最小、最大和中等厚度的三种尺寸的试样进行加热滞后时间的测定。试样的材料和表面状态应与实际零件相同。试样的形状、尺寸应符合图 A1 的规定。

A2 测试温度和真空工作压强

加热滞后时间的测定至少应在四个温度下进行：生产中将要使用的最高和最低两种温度以及两种中间温度。中间温度应从生产中所使用的总的温度范围内以接近等间隔的办法选取。升温方式与加热功率等应与实际生产条件相同。

加热滞后时间的测定应在加热室的真空工作压强小于 13.3Pa 的条件下进行。

A3 测试装炉量与装炉方式

根据生产需要测定满载和(或)半载时的加热滞后时间。装炉方式应与实际生产相况相同。

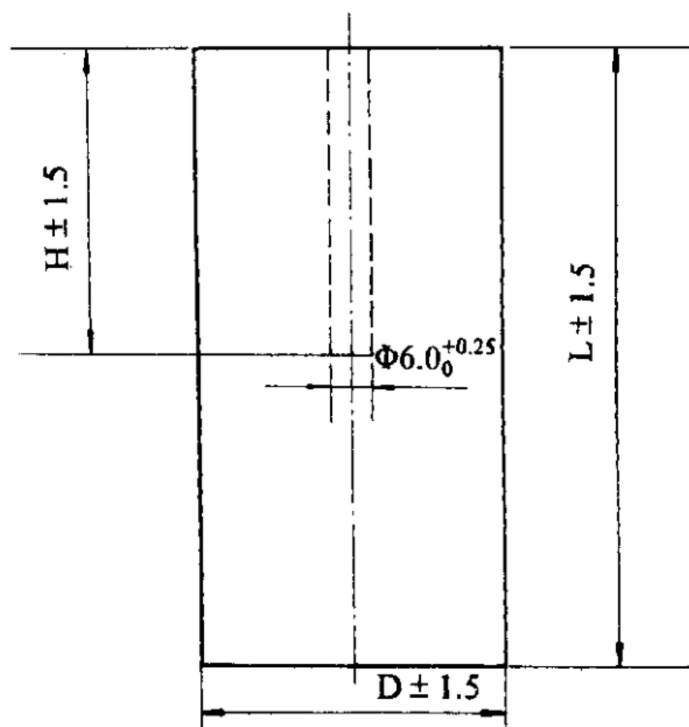


图 A1 测定加热滞后时间的试样图
 $(L \geq 2D; H = D \sim 0.5L; D$ —圆形或方
 (矩)形试样的直径或厚度, mm)

A4 热电偶的布置与数量

根据生产的需要,将一定数量的热电偶插入炉内适当部位的试样孔中,并与孔底紧密接触,但至少应有一根热电偶插入代表炉中到温最慢部位的试样的孔中,并以此为依据确定零件的加热滞后时间。

A5 测试程序与记录

用一台温度——时间记录仪记录各热电偶的温度与测试时间。测试记录上应注明材料牌号、试样尺寸、装炉量与装炉方式、试样在炉中的位置、试样的表面状态、设定温度、升温方式、加热功率、炉子型号等内容。

A6 测试结果的应用

测试结果用于确定零件在真空炉中加热的保温时间。如果生产零件的厚度或加热温度处于所测试的厚度或加热温度之间,那么应选用与其相近的较厚厚度或较高加热温度的测试结果。如果装炉量不足半载或满载,则选用半载或满载的结果。如果已有测试结果不能代表生产零件的厚度、加热温度和装炉量与装炉方式,则选用与其相近的较厚厚度、较高加热温度、较大装炉量与装炉方式的测试结果。

附录 B

脱碳、增碳、增氮、晶间氧化的检验方法
(参考件)

B1 脱碳、增碳、增氮的检验方法

B1.1 试样的材料、数量、形状与尺寸

试样的材料应与零件同炉号。试样的数量应符合有关标准或专用技术条件的规定。试样的厚度为 3~6mm, 半径为 6~12mm。试样的形状为圆片或扇形片, 其上允许带有一个小中心孔。试样圆周表面的加工粗糙度规定为 Ra 0.8。

B1.2 镶样与抛光

用镶金相试样的方法镶检验试样, 但应使试样的圆周面朝上, 磨削和抛光试样(见图 B1), 使接近弦与圆周表面交界处(I)的脱碳层或增碳(氮)层深度, 相对于原来垂直于圆周表面的深度来说, 得到 3~5 倍的放大。放大倍数是 D/C 。D 为试样的直径, C 为弦表面的长度。

B1.3 显微硬度的测量

在试样厚度中间, 由交界处开始沿垂直于交界线的方向向内, 用 500g 载荷测定努氏(HK)或显微维氏硬度。在距交界处 0.012mm 处打第一个压痕, 然后每隔 0.012mm 打一个压痕, 打到相当于试样心部硬度处为止。每次均按规定测量压痕对角线的长度并查出对应的硬度值。

B1.4 脱碳或增碳(氮)深度的计算

利用下面的公式计算试样的脱碳或增碳(氮)层深度(d):

$$d = r - \sqrt{r^2 - \Delta(c - \Delta)} \quad \text{..... (B1)}$$

或用近似公式计算:

$$d = \frac{c\Delta - \Delta^2}{2r} \quad \text{..... (B2)}$$

式中: d — 脱碳或增碳(氮)层深度, mm;

r — 试样半径, mm;

Δ — 实测的自交界处至规定硬度处的垂直距离, mm;

c — 弦表面长度, mm。

也可用图 B2 直接查得深度(d)。

B2 晶间氧化的检验方法

B2.1 试样的材料、数量、形状与尺寸

试样的材料、形状与尺寸均与检验脱碳或增碳(氮)的试样相同, 或者利用该种试样检验晶间氧化。试样的数量按专用技术条件的规定执行。

B2.2 试样的制备

将试样的一个垂直于热处理表面的截面制备成金相磨面。磨制前也应将试样镶片。

B2.3 晶间氧化的检查与测定

在最小 200 倍的放大条件下, 检查并测定试样在未腐蚀和用铬酸盐溶液腐蚀的两种状态

下的晶间氧化深度。两者中取较大值作为评定依据。

B2.4 腐蚀剂与腐蚀方法

碱性铬酸盐溶液是用 16g 的铬酐(CrO_3)和 80g 氢氧化钠(NaOH)溶入 143ml 水中配制而成的。腐蚀时应将溶液加热至沸腾。试样的腐蚀时间为 7~20min。

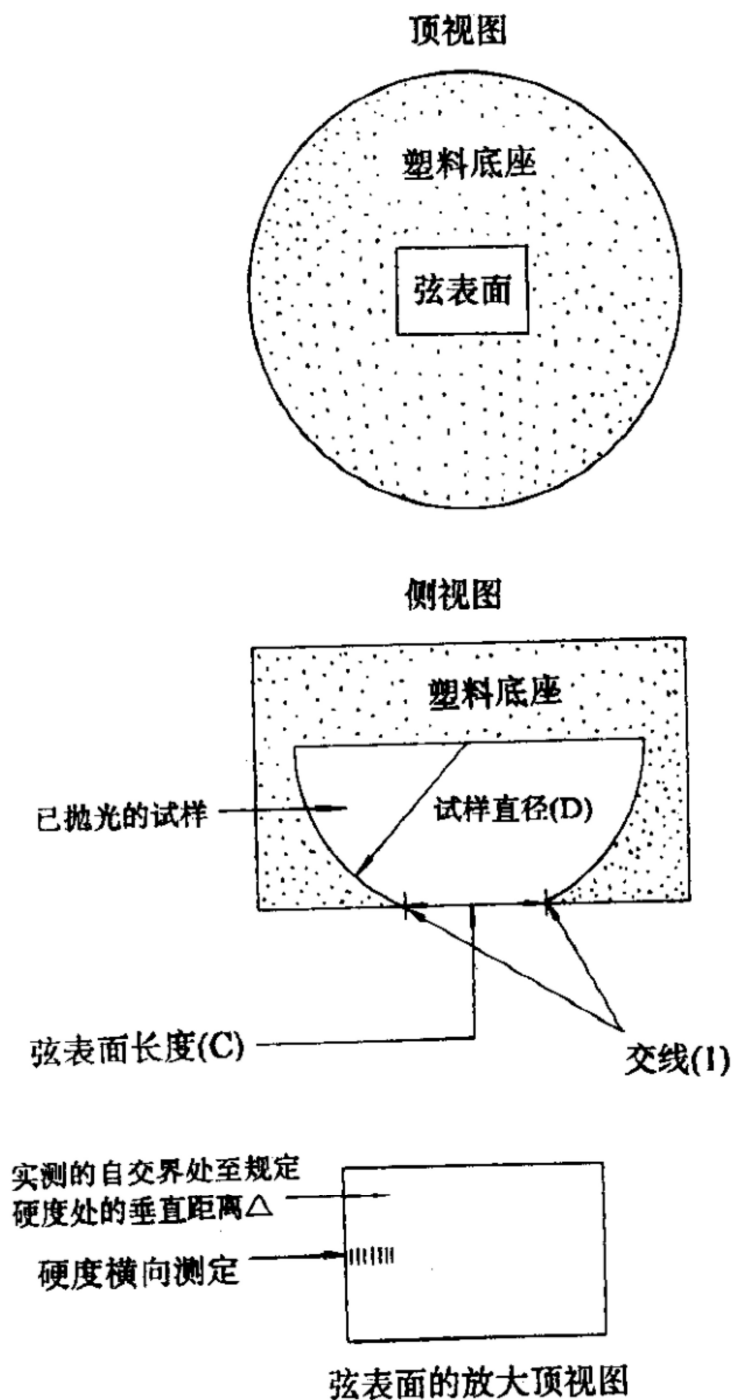


图 B1 镶片和试样抛光示意图

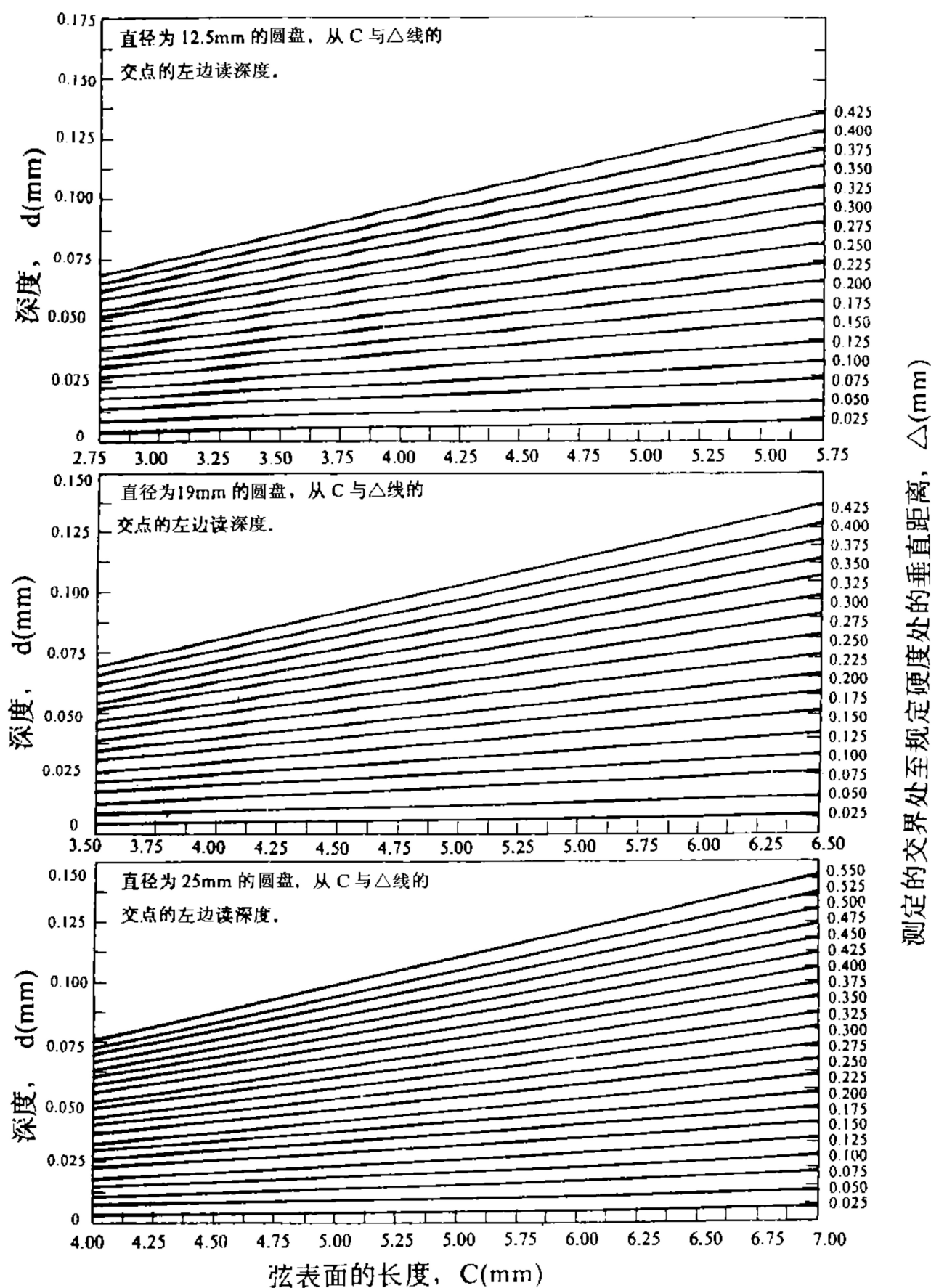


图 B2 直径为 12.5、19 和 25mm 圆盘的弦长、距离和深度

附录 C
硬度换算表
(参考件)

表 C1 硬度换算表

洛氏硬度 HRC	维氏硬度 HV	布氏硬度 HB, 负荷 3000kg, 球的直径 10mm		洛氏硬度 HRA, 60kg 负荷, 金刚 石压头	洛氏硬度 HRB, 100kg 负荷, 球 的直径 1.59mm	洛氏硬度 HBD, 100kg 负荷, 金刚 石压头	轻压力洛氏硬度, 轻 压力金刚石压头			努普显微硬 度, 负荷 500g
		标准球	碳化钨球				15N, 15kg 负荷	30N, 30kg 负荷	45N, 45kg 负荷	
68.....	940	...	...	85.6	...	76.9	93.2	84.4	75.4	920
67.....	900	...	...	85.0	...	76.1	92.9	83.6	74.2	895
66.....	865	...	...	84.5	...	75.4	92.5	82.8	73.3	870
65.....	832	...	(739)	83.9	...	74.5	92.2	81.9	72.0	846
64.....	800	...	(722)	83.4	...	73.8	91.8	81.1	71.0	822
63.....	772	...	(705)	82.8	...	73.0	91.4	80.1	69.9	799
62.....	746	...	(688)	82.3	...	72.2	91.1	79.3	68.8	776
61.....	720	...	(670)	81.8	...	71.5	90.7	78.4	67.7	754
60.....	697	...	(654)	81.2	...	70.7	90.2	77.5	66.6	732
59.....	674	...	(634)	80.7	...	69.9	89.8	76.6	65.5	710
58.....	653	...	615	80.1	...	69.2	89.3	75.7	64.3	690
57.....	633	...	595	79.6	...	68.5	88.9	74.8	63.2	670
56.....	613	...	577	79.0	...	67.7	88.3	73.9	62.0	650
55.....	595	...	560	78.5	...	66.9	87.9	73.0	60.9	630
54.....	577	...	543	78.0	...	66.1	87.4	72.0	59.8	612
53.....	560	...	525	77.4	...	65.4	86.9	71.2	58.6	594
52.....	544	(500)	512	76.8	...	64.6	86.4	70.2	57.4	576
51.....	528	(487)	496	76.3	...	63.8	85.9	69.4	56.1	558
50.....	513	(475)	481	75.9	...	63.1	85.5	68.5	55.0	542
49.....	498	(464)	469	75.2	...	62.1	85.0	67.6	53.8	526
48.....	484	(451)	455	74.7	...	61.4	84.5	66.7	52.5	510
47.....	471	442	443	74.1	...	60.8	83.9	65.8	51.4	495
46.....	458	432	432	73.6	...	60.0	83.5	64.8	50.3	480
45.....	446	421	421	73.1	...	59.2	83.0	64.0	49.0	466
44.....	434	409	409	72.5	...	58.5	82.5	63.1	47.8	452
43.....	423	400	400	72.0	...	57.7	82.0	62.2	46.7	438
42.....	412	390	390	71.5	...	56.9	81.5	61.3	45.5	426
41.....	402	381	381	70.9	...	56.2	80.9	60.4	44.3	414
40.....	392	371	371	70.4	...	55.4	80.4	59.5	43.1	402
39.....	382	362	362	69.9	...	54.6	79.9	58.6	41.9	391
38.....	372	353	353	69.4	...	53.8	79.4	57.7	40.8	380
37.....	363	344	344	68.9	...	53.1	78.8	56.8	39.6	370
36.....	354	336	336	68.4	(100.0)	52.3	78.3	55.9	38.4	360
35.....	345	327	327	67.9	(108.5)	51.5	77.7	55.0	37.2	351
34.....	336	319	319	67.4	(108.0)	50.8	77.2	54.2	36.1	342
33.....	327	311	311	66.8	(107.5)	50.0	76.6	53.3	34.9	334
32.....	318	301	301	66.3	(107.0)	49.2	76.1	52.1	33.7	326
31.....	310	294	294	65.8	(106.0)	48.4	75.6	51.3	32.5	318
30.....	302	286	286	65.3	(105.5)	47.7	75.0	50.4	31.3	311
29.....	294	279	279	64.7	(104.5)	47.0	74.5	49.5	30.1	304
28.....	286	271	271	64.3	(104.0)	46.1	73.9	48.6	28.9	297
27.....	279	264	264	63.8	(103.0)	45.2	73.3	47.7	27.8	290
26.....	272	258	258	63.3	(102.5)	44.6	72.8	46.8	26.7	284
25.....	266	253	253	62.8	(101.5)	43.8	72.2	45.9	25.5	278
24.....	260	247	247	62.4	(101.0)	43.1	71.6	45.0	24.3	272
23.....	254	243	243	62.0	100.0	42.1	71.0	44.0	23.1	266
22.....	248	237	237	61.5	99.0	41.6	70.5	43.2	22.0	261
21.....	243	231	231	61.0	98.5	40.9	69.9	42.3	20.7	256

注: 括号内的硬度值仅作参考

附加说明：

本标准由航空航天工业部航空材料、热工艺标准化技术归口单位提出并归口。

本标准由航空航天工业部第六二一研究所(主编单位)、西安飞机制造公司、哈尔滨飞机制造厂共同负责起草。

本标准主要起草人：

第六二一研究所：刘忠秋(编制组组长)

饶励(编制组付组长)

李文玉

张善庆

西安飞机制造公司：许鸿儒

孙月琴

吴仪兵

哈尔滨飞机制造厂：孙英海