

ISO

国际标准化组织

ISO/TR 16060: 2003

金属材料焊缝破坏性试验 ——
宏观和微观检验用腐蚀剂

**Destructive test on welds in metallic materials ——
Etchants for macroscopic and microscopic examination**

（翻译稿）

国际标准化组织 发布

国际标准化组织标准

金属材料焊缝破坏性试验 —— 宏观和微观检验用腐蚀剂

翻译单位：哈尔滨焊接研究所

翻 译：成炳皇

校 对：朴东光

编 辑：朴东光

2006 年 8 月

金属材料焊缝破坏性试验—宏观和微观检验用腐蚀剂

1 范围

本技术报告规定了依据 ISO 17639, 对下列材料类组进行焊缝宏观和微观检验用腐蚀剂的列表说明:

- 碳钢和低合金钢;
- 不锈钢;
- 镍及镍合金;
- 钛及钛合金;
- 铜及铜合金;
- 铝及铝合金。

2 规范性引用文件

下列标准对于本部分的应用是不可缺少的。凡是注明日期的引用标准, 仅引用版本使用。对于不注明日期的引用标准, 其最新版本 (包括所有修改) 适用本部分。

ISO 17639 金属材料焊缝破坏性试验—焊缝宏观和微观检验

3 一般原则

在附录中不能确定试剂浓度和结晶水的详细情况, 使用表 1。每种腐蚀剂的具体数值应由腐蚀剂供应商提供。

4 碳钢和低合金钢用的腐蚀剂

附录 A 给出了碳钢和低合金钢用的腐蚀剂。

5 不锈钢用的腐蚀剂

附录 B 给出了不锈钢用的腐蚀剂。

6 镍及镍合金用的腐蚀剂

附录 C 给出了镍及镍合金用的腐蚀剂。

7 钛及钛合金用的腐蚀剂

附录 D 给出了钛及钛合金。

8 铜及铜合金用的腐蚀剂

附录 E 给出了铜及铜合金用的腐蚀剂。

9 铝及铝合金用的腐蚀剂

附录 F 给出了铝及铝合金用的腐蚀剂。

10 说明

按照附录 A 至附录 F 表中腐蚀剂的名称或数量表 1 给出了其规格。

表 1 组元的规格

组元	规格			
	比重 g/cm ³	浓度 %	水合物	备注
HCl	1.18 1.16	35 至 38 31.5 至 33	—	
HF	1.13	40	—	
HNO ₃	1.42	69	—	
H ₂ SO ₄	1.84	98	—	
H ₂ O ₂	—	6% W/V ^a	—	通常体积数 20 (例如 20 体积是 O ₂)
H ₃ PO ₄	1.70	85	—	
CH ₃ COOH	1.05	99.1	—	冰状
HF ₄	1.23	35	—	
C ₂ H ₂ O ₄	—	—	2	
FeCl ₃	—	—	6	
CuCl ₂	—	—	2	
MgCl ₂	—	—	6	
Fe(NO ₃) ₃	—	—	9	
a W/V 表示重量体积比。				

附 录 A
(资料性附录)
碳钢和低合金钢用的腐蚀剂

见表 A.1 至表 A.13。

表 A. 1—硝酸酒精腐蚀液

腐蚀剂类型：宏观和微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 99 ml至 95 ml工业含甲醇酒精* 1 ml至 5 ml硝酸 (HNO ₃) * 乙醇 (C ₂ H ₅ OH) 中加入甲醇 (CH ₃ OH) 也可以用甲醇或戊醇 [(CH ₃) ₂ CH(CH ₂)OH]
安全放置时间：无限期
表面制备： 600#砂纸或更细（宏观腐蚀≈5%硝酸） 3 μm 金刚石粉或更细（微观腐蚀≈2%硝酸）
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施
说明： 在制备好的表面进行宏观腐蚀硝酸含量可大于 15%—显示铁素体晶界—区分铁素体与马氏体。 好的通用腐蚀剂。 对于镀锌钢最好使用戊醇。

表 A. 2—苦味酸酒精溶液（4%）

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml乙醇 (C ₂ H ₅ OH) 4 g 苦味酸 [C ₆ H ₂ OH(NO ₂) ₃] [如果需要+湿润剂(十二烷基苯磺酸钠)(C ₁₈ H ₂₉ NaSO ₄)]
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 轻微腐蚀原奥氏体晶界—显示碳化物—对细珠光体、马氏体、回火马氏体和贝氏体组织分辨率高。

表 A. 3—苦味酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 1 L饱和含水苦味酸[C ₆ H ₂ OH(NO ₂) ₃] 10 ml湿润剂(12 烷基苯磺酸钠)(C ₁₈ H ₂₉ NaSO ₄)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μ m 金刚石粉或更细
腐蚀温度：55℃ ~ 60℃
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 显示原晶界和偏析。

表 A. 4—苦味酒精溶液（15%）

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml乙醇* (C ₂ H ₅ OH) 15 g 苦味酸[C ₆ H ₂ OH(NO ₂) ₃] * 也可以用甲醇 (CH ₃ OH)
安全放置时间：无限期
表面制备： 2 μ m 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒至 1 分—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 通用组织显示剂 为饱和苦味酸溶液。

表 A. 5—盐酸苦味酸酒精溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml乙醇* (C_2H_5OH) 1 ml 盐酸 (HCl) 4 g苦味酸 [$C_6H_2 OH(NO_2)_3$]
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：10 s 至几分
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 显示热影响区、焊缝和母材的显微组织特点。 对非常细的组织特别有效。 对于铁素体晶界的效果不如硝酸酒精腐蚀液。

表A. 6—过二硫酸铵溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml水 (H_2O) 10 g过二硫酸铵 [$(NH_4)_2 S_2O_8$]
安全放置时间：无限期
表面制备： 6 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：2 min ~ 3 min
附加预防措施/要求： 无
说明： 显示热影响区范围。 多道焊缝显微组织特征。

表 A. 7—盐酸酒精溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml乙醇（C ₂ H ₅ OH） 1 ml ~ 5 ml 盐酸（HCl）
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：40℃ ~ 50℃
腐蚀时间：几秒至 1 分
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。 将HCl加入到C ₂ H ₅ OH中。
说明： 无

表 A. 8—120/10/30 腐蚀剂

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 120 ml乙醇（C ₂ H ₅ OH）或甲醇（CH ₃ OH） 10 ml氯化铁（III）（FeCl ₃ ）（60%W/V） 30 ml 盐酸（HCl）
安全放置时间：无限期
表面制备： 2 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：浸入几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

表 A. 9—氯化铜溶液 1

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 30 ml 水 (H_2O) 25 ml 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 40 ml 盐酸 (HCl) 5 g 氯化铜 (II) (CuCl_2)
安全放置时间：2 h
表面制备： 1000# 砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：10 s ~ 20 s
附加预防措施/要求： 腐蚀后，洗干净试样以除去沉积的铜。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 显示冷加工变形线。

表 A. 10—氯化镁和氯化铜的盐酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 20 ml 水 (H_2O) 1 ml 盐酸 (HCl) 4 g 氯化镁 (II) (MgCl_2) 1 g 氯化铜 (II) (CuCl_2)
安全放置时间：2 h
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：60 s
附加预防措施/要求： 应用最少量的热水溶解盐类，然后用乙醇稀释。 腐蚀后轻微抛光 (1 μm) 提供最佳的对比。
说明： 显示磷及相关的偏析。铜首先全部沉积在磷含量最少的区域。

表 A. 11—Adler (阿德勒) 腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 25 ml 水 (H_2O) 3 g 四氯化铜铵 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 120 ml 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 或甲醇 (CH_3OH) 50 ml 盐酸 (HCl) 5 g 氯化铁 (III) (FeCl_3)
安全放置时间：几个月
表面制备： 1000# 砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：5 s ~ 10 s
附加预防措施/要求： 把 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 加到 H_2O 中 (a)。 把 FeCl_3 加到 HCl 中。 两者分别混合后把 (b) 加到 (a)。
说明： 无

表 A. 12—Heyn (海恩) 腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 120 ml 水 (H_2O) 10g 四氯化铜铵 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$
安全放置时间：几个月
表面制备： 240# 砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：10 s ~ 1 min
附加预防措施/要求： 把 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 加到 H_2O 中。
说明： 应清除沉积的铜。

表 A. 13—氯化铁水溶液

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 70 ml水（H ₂ O） 30ml氯化铁（III）（FeCl ₃ ）（60%W/V）
安全放置时间：无限期
表面制备： 1000#砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： (1)擦干净表面； (2)用水洗干净； (3)重新擦干净表面； (4)腐蚀后，用水洗干净，再用乙醇洗干净，然后干燥。

附 录 B
(资料性附录)
不锈钢用的腐蚀剂

见表 B.1 至表 B.12。

表 B. 1—草酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml 水 (H_2O) 10 g 草酸 (乙二酸) ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 电解电压 2V 至 4V。可以显示晶内腐蚀敏感性。 通用组织显示剂。 显示晶界碳化物。

表 B. 2—硫氰酸铵溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 80 ml 水 (H_2O) 20 ml 硫酸 (H_2SO_4) 10 g 硫氰酸铵 (NH_4SCN)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 电解电压 1.5V 至 2.0V。 好的通用腐蚀剂。

表 B. 3—氯化铁盐酸溶液

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 480 ml水（H ₂ O） 120 ml盐酸（HCl） 30 g氯化铁（III）（FeCl ₃ ）
安全放置时间：无限期
表面制备： 600#砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒至 1 分—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 对于奥氏体铬镍钢及其它不锈钢是好的通用宏观腐蚀剂。

表 B. 4—改进的 Murakami 腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 600 ml水（H ₂ O） 30 g[K ₃ Fe(CN) ₃] 30 g 氢氧化钾（KOH）
安全放置时间：新鲜溶液
表面制备： 1 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：制备的新鲜溶液温度（热）
腐蚀时间：20 s ~ 40 s
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 显示 δ 铁素体中的 σ 相和碳化物。不显示奥氏体基体。

表 B. 5—氯化铜溶液 2

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml水（H ₂ O） 100 ml乙醇（C ₂ H ₅ OH） 100 ml 盐酸（HCl） 5 g氯化铜（II）（CuCl ₂ ）
安全放置时间：2 h
表面制备： 1 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：10 s 至几分
附加预防措施/要求： 腐蚀后，应洗干净试样以除去沉积的铜。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 特别用于铁素体和马氏体不锈钢，代替电解腐蚀。 对于奥氏体晶界效果较差，可以用较长的侵蚀时间腐蚀出来。 对碳化物无效。

表 B. 6—铬酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml水（H ₂ O） 10 g氧化铬（IV）（CrO ₃ ）
安全放置时间：几天
表面制备： 1 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：10 s ~ 1 min
附加预防措施/要求： 腐蚀后，洗干净试样以除去沉积的铜。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 奥氏体晶界。区分σ相和碳化物。 通常腐蚀采用电解腐蚀（3 V）。分析碳化物时电解腐蚀分两步进行：首先采用1 V，然后采用3 V。

表 B. 7—盐酸酒精溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml乙醇（C ₂ H ₅ OH） 1 ml ~ 5 ml 盐酸（HCl）
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：40℃ ~ 50℃
腐蚀时间：几秒到 1 分
附加预防措施/要求： 把HCl倒入C ₂ H ₅ OH中。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 无

表 B. 8—盐酸硝酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 39 ml水（H ₂ O） 52 ml 盐酸（HCl） 9 ml硝酸（HNO ₃ ）（浓度 65%）
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒到几分
附加预防措施/要求： 把HCl和HNO ₃ 倒入H ₂ O中。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 无

表 B. 9—Adler (阿德勒) 腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 25 ml 水 (H_2O) 3 g 四氯化铜铵 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 50 ml 盐酸 (HCl) 15 g 氯化铁 (III) (FeCl_3)
安全放置时间：几个月
表面制备： 320# 砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：5 s ~ 10 s
附加预防措施/要求： 把 $[(\text{NH}_4)_2 \text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 倒入 H_2O 中(a)。 把 FeCl_3 倒入 HCl 中(b)。 两者分别混合后把(b)加到中(a)。
说明： 无

表 B. 10—硝酸氢氟酸溶液 1

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 50 ml 硝酸 (HNO_3) 50 ml 氢氟酸 (HF)
安全放置时间：使用后不能储存
表面制备： 2 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒到几分
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 通用组织显示剂。

表 B. 11—硝酸氢氟酸水溶液 2

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml 水（H ₂ O） 100 ml 硝酸（HNO ₃ ） 100 ml 氢氟酸（HF）
安全放置时间：使用后不能存放
表面制备： 2 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：浸入 1 min ~ 15 min
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 通用组织显示剂。

表 B. 12—硝酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 50 ml 水（H ₂ O） 50 ml 硝酸（HNO ₃ ）
安全放置时间：无限期
表面制备： 2 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 电解电压 3 V ~ 6 V。 在该溶液中漂洗以除去表面存在的膜。

附 录 C
(资料性附录)
镍及镍合金用的腐蚀剂

见表 C.1 至表 C.4。

表 C. 1—含过氧化氢盐酸酒精溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 65 ml 乙醇 (C_2H_5OH) 35 ml 盐酸 (HCl) 4 ml 过氧化氢 (H_2O_2) (20 容量)
安全放置时间：使用后不能存放
表面制备： 2 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 要使用前倒入 H_2O_2 。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

表 C. 2—硫氰酸铵溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 80 ml 水 (H_2O) 20 ml 硫酸 (H_2SO_4) 10 g 硫氰酸铵 (NH_4SCN)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 电解电压 1.5V 至 2.0V。 好的通用腐蚀剂。

表 C. 3—硝酸醋酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 30 ml水丙酮[$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$] 30 ml硝酸(HNO_3) 30 ml醋酸(CH_3COOH)
安全放置时间：使用后不能存放
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 保持冷的状态。 释放出一氧化二氮。 手工处置酸常用预防措施。
说好的通用腐蚀剂。

表 C. 4—Adler（阿德勒）腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 25 ml水(H_2O) 3 g四氯化铜铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 50 ml 盐酸(HCl) 15 g氯化铁(III)(FeCl_3)
安全放置时间：几个月
表面制备： 320#砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：5 s ~ 10 s
附加预防措施/要求： 把 $[(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 倒入 H_2O 中(a)。 把 FeCl_3 倒入 HCl 中(b)。 两者分别混合后把(b)加到中(a)。
说明： 无

附 录 D
(资料性附录)
钛及钛合金用的腐蚀剂

见表 D.1 和表 D.2。

表 D.1—Keller (凯勒) 腐蚀剂

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 950 ml 水 (H_2O) 25 ml 硝酸 (HNO_3) 15 ml 盐酸 (HCl) 10 ml 氢氟酸 (HF)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

表 D.2—硝酸氢氟酸溶液 3

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 880 ml 水 (H_2O) 100 ml 硝酸 (HNO_3) 20 ml 氢氟酸 (HF)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

附 录 E
(资料性附录)
铜及铜合金用的腐蚀剂

见表 E.1 至表 E.3。

表 E. 1—氯化铁盐酸酒精溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 960 ml 工业含甲醇酒精* 20 ml 盐酸 (HCl) 50 g 氯化铁 (III) (FeCl_3) * 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 中加入甲醇 (CH_3OH)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂，特别适用于含铜量高的铜合金。

表 E. 2—过二硫酸铵溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 90 ml 水 (H_2O) 10 mg 过二硫酸铵 [$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$] 10 ml 氢氧化铵 (氨溶液) (NH_3 溶于 H_2O) 比重 0.880 g/cm ³
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

表 E. 3—含有硝酸铵和硝酸铁的硝酸溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 500 ml水（H ₂ O） 2 ml硝酸（HNO ₃ ） 2 g硝酸铵（NH ₄ NO ₃ ） 20 g氯化铁（III）[Fe(NO ₃) ₃]
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μ m金刚石或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。

附 录 F
(资料性附录)
铝及铝合金用的腐蚀剂

见表 F.1 至表 F.7。

表 F. 1—氢氧化钠溶液

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 100 ml 水 (H_2O) 10 g 氢氧化钠 (NaOH)
安全放置时间：使用后不能存放
表面制备： 600# 砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。在排烟柜中操作。
说明： 好的通用腐蚀剂。 可以在不同的稀释度下使用。

表 F. 2—Keller (凯勒) 腐蚀剂

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 950 ml 水 (H_2O) 25 ml 硝酸 (HNO_3) 15 ml 盐酸 (HCl) 10 ml 氢氟酸 (HF)
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 好的通用腐蚀剂。 注意：腐蚀的晶界可能看起来像裂纹。

表 F. 3—盐酸硝酸氢氟酸水溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 350 ml水（H ₂ O） 300 ml硝酸（HNO ₃ ） 300 ml 盐酸（HCl） 50 ml 氢氟酸（HF）
安全放置时间：放置到颜色变为褐绿色同时反应不激烈时为止
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：开始反应后 30 s ~ 60 s
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 注意：腐蚀的晶界可能看起来像裂纹。

表 F. 4—盐酸硝酸正磷酸水溶液

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 480 ml水（H ₂ O） 200 ml 盐酸（HCl） 200 ml硝酸（HNO ₃ ） 120 ml正磷酸（H ₃ PO ₄ ）
安全时间：放置到颜色变为褐绿色同时反应不激烈时为止
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：30 °C ~ 40 °C
腐蚀时间：开始反应后 60 s ~ 120 s
附加预防措施/要求： 手工处置酸常用预防措施。
说明： 注意：腐蚀的晶界可能看起来像裂纹。

表 F. 5—Barker 腐蚀剂

腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 940 ml水（H ₂ O） 60 ml氟硼酸（HBF ₄ ）
安全放置时间：通常在无限定期间是稳定的
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：40 s ~ 60 s
附加预防措施/要求： 见 F.1 条中“Barker”的说明。
说明： 注意：腐蚀的晶界可能看起来像裂纹。 对于检验铝及铝合金的晶粒和/或纤维组织，“Barker”用偏振光检验阳极化的试样证明是成功的并且得出希望的结果。

表 F. 6—Poulton 腐蚀剂

腐蚀剂类型：宏观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 50 ml水（H ₂ O） 600 ml 盐酸（HCl） 300 ml硝酸（HNO ₃ ） 50 ml 氢氟酸（HF）
安全放置时间：使用后不能存放
表面制备： 1000#砂纸或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：几秒—眼睛观察确定
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 通常显示宏观组织。

表 F.7—Kroll 腐蚀剂

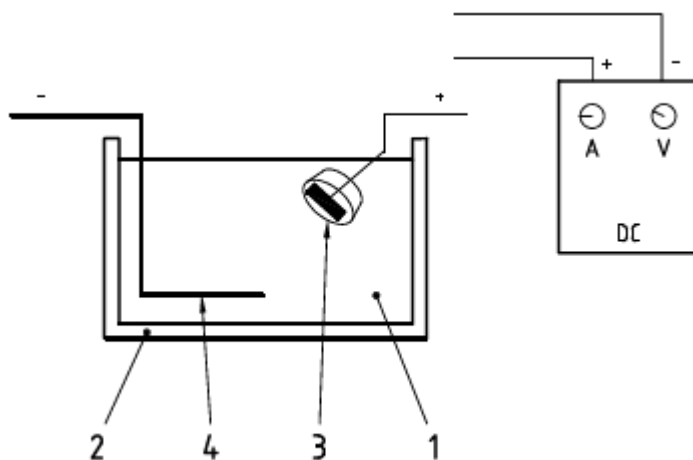
腐蚀剂类型：微观腐蚀剂
体积组成和混合顺序： 960 ml 水（H ₂ O） 30 ml 硝酸（HNO ₃ ） 10 ml 氢氟酸（HF）
安全放置时间：无限期
表面制备： 3 μm 金刚石粉或更细
腐蚀温度：室温
腐蚀时间：< 5 s
附加预防措施/要求： 警告：当处理 HF 时保护好裸露的眼睛和手。一旦身体接触，立即把皮肤清洗干净并去医院。 使用塑料容器。 手工处置酸常用预防措施。
说明： 注意：腐蚀的晶界可能看起来像裂纹。

F.1 “Barker” 工艺说明

F.1.1 一般原则

使用 Barker 阳极氧化工艺（见表 F.5）。

图 F.1 给出了这种方法的示意图。



1—电解液[在蒸馏水中HBF₄的浓度为体积分数 6%（质量分数 35%）]

2—塑料容器

3—阳极（用良导体例如铝线把试样连接到电极上）

4—阴极（纯铝板）

电压：25 V ~ 30 V (D.C)

时间：40 s ~ 60 s

最高温度：环境温度（通过搅动或冷却电解槽）

图 F.1 “Barker” 工艺示意图

F.1.2 处理

阳极氧化后，用流动水清洗试样，然后用酒精除去水，最后在热空气中干燥。

不能使用超声处理。

F.1.3 检验

在光学显微镜下用偏振光观察氧化表面。

附 录 G
(资料性附录)
腐蚀剂列表

见表 G.1 至表 G.2。

表 G.1 按材料分组腐蚀剂分类列表

名称	表序号	检验类型	材料
Adler' s etchant Adler <u>腐蚀剂</u>	A.11		碳钢和低合金钢
Alcoholic hydrochloric solution 盐酸酒精溶液	A.7	微观检验	
Ammonium peroxodisulfate solution 过二硫酸铵 <u>溶液</u>	A.6		
Cuprochloroc solution 1 氯化铜溶液 1	A.9	宏观检验	
Ferric chloride solution 氯化铁腐蚀剂	A.13		
Heyn' s etchant Heyn <u>腐蚀剂</u>	A.12		
Hydrochloric picric solution 盐酸苦味酸溶液	A.5	微观检验	
Magneso cuprochloroc solution 氯化镁和氯化铜的盐酸溶液	A.10		
Nital 硝酸酒精腐蚀液	A.1	宏观检验和 微观检验	
Picral（4%） 苦味酸酒精溶液（4%）	A.2	微观检验	
Picral（15%） 苦味酒精溶液（15%）	A.4		
Picric acid solution 苦味酸溶液	A.3		
120/10/30 etchant 120/10/30 腐蚀剂	A.8		
Acidified ferric chloric solution 氯化铁盐酸溶液	B.3	宏观检验	不锈钢
Adler' s etchant Adler 腐蚀剂	B.9		
Alcoholic hydrochloric solution 盐酸酒精溶液	B.7	微观检验	
Chromic acid solution 铬酸溶液	B.6		
Cuprochloroc solution 2 氯化铜溶液 2	B.5		

表 G. 1 (续)

名称	表序号	检验类型	材料
Fluonitric acid solution 1 硝酸氢氟酸溶液 1	B.10	微观检验	不锈钢
Fluonitric acid solution 2 硝酸氢氟酸溶液 2	B.11		
Hydrochloric nitric acid solution 盐酸硝酸溶液	B.8		
Modified Murakami' s e tchant 改进的 Murakami 腐蚀剂	B.4	宏观检验	
Nitric acid solution 硝酸溶液	B.12	微观检验	
Oxalic acid solution 草酸溶液	B.1		
Thiocyanate solution 硫氰酸铵溶液	B.2		
Adler' s etchant Adler 腐蚀剂	C.4	宏观检验	镍及镍合金
Alcoholic hydrochloric acid solution with hydrogen peroxide 含过氧化氢盐酸酒精溶液	C.1	微观检验	
Nitric acetic acid solution 硝酸醋酸溶液	C.3		
Thiocyanate solution 硫氰酸铵溶液	C.2		
Keller' s etchant Keller 腐蚀剂	D.1		钛及钛合金
Fluonitric acid solution 3 硝酸氢氟酸水溶液 3	D.2		
Alcoholic acidified ferric chloride solution 盐酸氯化铁酒精溶液表	E.1	微观检验	铜及铜合金
Ammonium peroxodisulfate solution 过二硫酸铵溶液	E.2		
Nitric acid with ammonium and ferric nitrate solution 含硝酸铵和硝酸铁硝酸溶液	E.3		
Barkert' s etchant Barkert 腐蚀剂	F.5	微观检验	铝及铝合金
Hydrochloric nitric hydrofluoric acid solution 盐酸硝酸氢氟酸水溶液	F.3		
Hydrochloric nitric orthophosphoric acid solution 盐酸硝酸正磷酸水溶液	F.4		

表 G.1 (续)

名称	表序号	检验类型	材料
Keller' s etchant Keller 腐蚀剂	F.2	微观检验	铝及铝合金
Kroll' s etchant Keller 腐蚀剂	F.7		
Poulton' s etchant Poulton 腐蚀剂	F.6		
Sodium hydroxide solution 氢氧化钠水溶液	F.1	宏观检验	

表 G.2 按英文字母顺序腐蚀剂列表

名称	表序号	检验类型 ^a	材料
Acidified ferric chloric solution	B.3	A	不锈钢
Adler' s etchant	A.11		碳钢和低合金钢
	B.9		不锈钢
	C.4		镍及镍合金
Alcoholic acidified ferric chloride solution	E.1	I	铜及铜合金
Alcoholic hydrochloric acid solution with hydrogen peroxide	C.1		镍及镍合金
Alcoholic hydrochloric solution	A.7		碳钢和低合金钢
Alcoholic hydrochloric solution	B.7		不锈钢
Ammonium peroxodisulfate solution	E.2		铜及铜合金
	A.6		碳钢和低合金钢
Barkert' s etchant	F.5		铝及铝合金
Chromic acid solution	B.6		不锈钢
Cuprochloroc solution 1	A.9	A	碳钢和低合金钢
Cuprochloroc solution 2	B.5	I	不锈钢
Ferric chloride solution	A.13	A	碳钢和低合金钢
Fluonitric acid solution 1	B.10	I	不锈钢
Fluonitric acid solution 2	B.11		钛及钛合金
Fluonitric acid solution 3	D.2		
Heyn' s etchant	A.12	A	碳钢和低合金钢
Hydrochloric nitric acid solution	B.8	I	不锈钢
Hydrochloric nitric hydrofluoric acid solution	F.3		铝及铝合金
Hydrochloric nitric orthophosphoric acid solution	F.4		
Hydrochloric picric solution	A.5		碳钢和低合金钢
Keller' s etchant	D.1		钛及钛合金
	F.2		铝及铝合金
Kroll' s etchant	F.7		
a 根据 ISO 17639 国际标准 A= 宏观检验；I= 微观检验。			

表 G. 2 (续)

名称	表序号	检验类型 ^a	材料
Magneso cuprochloroc solution	A.10	I	碳钢和低合金钢
Modified Murakami' s etchant	B.4	A	不锈钢
Nital	A.1	A 和 I	碳钢和低合金钢
Nitric acetic acid solution	C.3	I	镍及镍合金
Nitric acid with ammonium and ferric nitrate solution	E.3		铜及铜合金
Nitric acid solution	B.12		不锈钢
Oxalic acid solution	B.1		
Picral（4%）	A.2		
Picral（15%）	A.4		
Picric acid solution	A.3		碳钢和低合金钢
Poulton' s etchant	F.6	A	铝及铝合金
Sodium hydroxide solution	F.1		
Thiocyanate solution	B.2	I	不锈钢
	C.2		镍及镍合金
120/10/30 etchant	A.8		
a 根据 ISO 17639 国际标准 A = 宏观检验；I = 微观检验。			