

烧结铁基零件金相检验

1 范围

本文件描述了烧结铁基零件的金相检验方法，并提供相应参考图谱以供对照。

本文件适用于以铁为主要组元的烧结零件的孔隙、缺陷及金相显微组织的检验活动。

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，仅所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 8643 润滑剂金属粉末中润滑剂含量的测定修正的索格利特（Soxhlet）萃取法

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 样品制备和金相检查

4.1 原则

烧结铁基零件的金相样品制备应选择合适的清洁、镶样和抛光工艺，以显示真实的孔隙形貌。样品浸蚀应避免孔隙中的油污和润滑剂对检验结果产生影响。

4.2 取样

取样数和检测面应根据技术文件要求确定，或者由委托方及检测方协商决定，取样位置应具有代表性并包含所有研究的特征。

观察孔隙分布、烧结颈及常规显微组织时，取样部位应选择与零件压制方向平行的剖面即轴向截面作为金相磨面；一般观察表面硬化层及致密层时，应选择与压制方向相垂直的剖面作为金相磨面。

通常使用湿式砂轮片进行切割取样，切割过程中应使用切削液冷却以避免零件氧化和过热，并且采用低的切割速度以减少切割变形层，缩短磨样时间。推荐使用树脂粘接的 Al_2O_3 砂轮片切割。

在某些特殊情况下，如零件切割面复杂或者零件不便于夹持时，宜采取线切割。由于线切割引起的变形层更深，应进行较长时间的磨削确保去除切割变形层，避免组织误判。在切割表面有涂覆层的零件时，应保证涂层面为进刀面。

如果切割可能对涂层或零件造成破坏，则应对零件进行真空冷镶后再进行切割。

4.3 清洁

零件切割后，应用丙酮等有机溶剂去除切割液并进行干燥。含油脂零件先用合适的有机溶剂（四氯化碳、丙酮、甲苯等）在加热的索氏脂肪抽出器中脱脂并干燥后，再进行镶嵌。脱脂仪器和步骤按照GB/T

8643的要求，注意选择的有机溶剂不能与零件发生反应。脱脂时间根据零件大小和油脂量而定，一般应3h以上。脱脂应在通风柜中进行。

4.4 镶嵌

根据样品大小、形状及需检验项目的特点，可选用机械镶嵌或树脂镶嵌。所选的镶嵌方法不应改变样品的原始组织。

机械镶嵌按照 GB/T 13298 的要求进行。

树脂镶嵌后样品应能够保持平整的边界，宜使用收缩率低的树脂进行镶嵌。填充部分孔隙及减少树脂和样品之间的缝隙，有助于金相样品的夹持、磨抛、浸蚀和观察。可采取热镶或冷镶。大部分样品都可采用热镶，当样品对温度和压力敏感时宜采用冷镶。冷镶宜使用真空树脂浸渍，确保孔隙被树脂充分填充并避免产生气孔。

4.5 制样方法

烧结铁基零件的金相检验通常采用机械制样方法。机械制样方法分为两步：研磨和抛光。

4.5.1 研磨

研磨可使用砂纸或带有研磨颗粒的研磨盘。

首先采用粗 SiC 砂纸或 Al₂O₃ 磨石配合水冷去除切割变形层，保证所有样品的表面平整度一致。通常先使用研磨颗粒为 180 目或 220 目的粗砂纸将样品磨平，然后使用颗粒较细的 SiC 砂纸（320 目，500 目，800 目，1200 目）或者在自动研磨设备上使用树脂复合盘配合 9 μ m 金刚石悬浮液和乙醇基润滑剂进行精磨，精磨后将获得划痕和变形程度都较小的平整表面。

若使用手动研磨，须确保样品在每道研磨过程中旋转 90°，以确保与上一道的划痕呈 90°。

每一道研磨步骤之间应使用水和软刷对样品表面进行清洁，有条件的可用超声波清洗机配合清洗液去除研磨残留金属和磨料，使用乙醇冲洗后吹干。

4.5.2 抛光

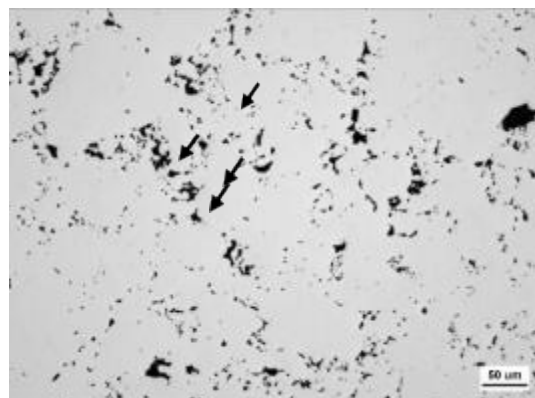
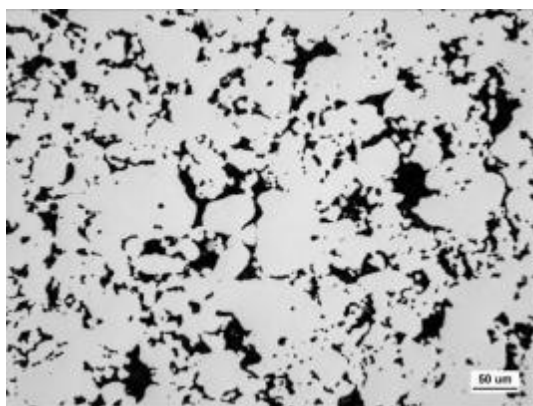
研磨后，几乎所有的孔隙被研磨产生的机械变形层覆盖。抛光的目的在于去除研磨带来的划痕和机械变形层，显示真实的孔隙形貌并计算孔隙率。应避免不同材料一起抛光，并避免抛光盘滴加不同尺寸的抛光磨料颗粒。如果是手动抛光，样品的运动方向应与抛光盘的旋转方向相反以打开孔隙，抛光过程中应不断旋转样品以免孔隙边缘产生拖尾现象。如果是自动抛光，样品的旋转方向应与抛光盘的旋转方向相同。

抛光可首先使用 3 μ m 金刚石悬浮液，乙醇基润滑剂配合羊毛抛光布进行粗抛，粗抛过程将逐渐去除划痕并打开孔隙。普通样品打开孔隙一般需要（4~9）min，样品硬度越低，所需抛光时间越长。如果样品很大，或者显微组织是较软的铁素体或奥氏体，抛光时间可能需要延长至 15min 以上，并且更换抛光布为缎面机织物将减少长时间抛光带来的孔隙和样品边缘的圆化现象。一般粗抛 6min 后将样品取下在显微镜下观察孔隙，根据孔隙打开情况决定是否延长抛光时间。一般肉眼观察抛光样品表面为镜面，则表明孔隙未充分打开。测定孔隙率时，通常需要打开 95%以上的孔隙。

粗抛后可以去除大多数研磨划痕。如果需要进一步去除粗抛带来的细小划痕，可使用 1 μ m 金刚石悬浮液，乙醇基润滑剂配合短绒毛抛光布进行精抛，时间一般为（0.5~1）min，避免过长时间使用短绒毛抛光布导致孔隙变大和圆化。较软的样品如铁素体和奥氏体样品，可增加 0.04 μ m 的氧化物悬浮液配

合多孔氯丁橡胶作为最终抛光去除细小划痕，时间一般为（1~2）min。样品的旋转方向跟抛光盘旋转方向相反。

抛光良好和欠抛光样品的孔隙形貌如图 1 所示。



50μm

50μm

图 1 a) 1120℃ 烧结 30min 试样，样品抛光良好，孔隙中无磨削材料残留

图 1 b) 样品同 a)，抛光时间短，欠抛光，箭头所指为孔隙被磨削材料堵塞，孔隙未完全打开

抛光的每个步骤之间应用乙醇和棉花清洗样品表面，避免使用刷子，可使用超声波清洗机配合清洗液去除孔隙及样品与树脂结合缝隙中的残留金属和磨料，利于打开孔隙且避免污染抛光盘，清洗后用乙醇冲洗样品，吹风机迅速吹干。抛光过程避免接触水。

除了上述抛光工艺外，可按照 GB/T 13298 的工艺进行抛光。

4.6 未浸蚀观察

样品抛光后可以在光学显微镜下直接观察如下情况：孔隙打开情况，孔隙率，孔隙形态，烧结颈，夹杂物，机加工助剂，游离铜，游离石墨，氧化物等。观察时从低倍到高倍逐步进行。

4.7 浸蚀

样品经过浸蚀剂浸蚀后再观察金相显微组织和晶界。烧结铁基零件宜使用化学试剂进行浸蚀。浸蚀前使用无水乙醇充分润湿样品表面，应均匀浸蚀，避免浸蚀时表面产生气泡。浸蚀后应使用乙醇将浸蚀液冲洗干净，特殊情况可使用水冲洗，最后使用吹风机或者压缩空气迅速吹干样品，避免残留水渍。详细的浸蚀剂配方、目的和浸蚀步骤见附录A。

4.8 拍照

4.8.1 未浸蚀状态可采用 100 倍的放大倍数，比如评定孔隙级别和密度分布等。如果密度较高，孔隙较小，或者观察孔隙中包含的游离石墨，100 倍下较难观察，可采用 200 倍或更大的放大倍数。观察不锈钢等材料中易氧化元素形成的微小氧化物可采用更高的放大倍数，例如 500 倍或更大的放大倍数。

4.8.2 烧结态的金相显微组织可采用 200 倍或更大的放大倍数。

4.8.3 烧结硬化及热处理样品的显微组织可采用 200 倍或更大的放大倍数。

4.8.4 供需双方可以商定其他放大倍数。

4.8.5 金相显微组织的照片需用标尺标定放大倍数，标尺位于图片右下角，如图2所示。

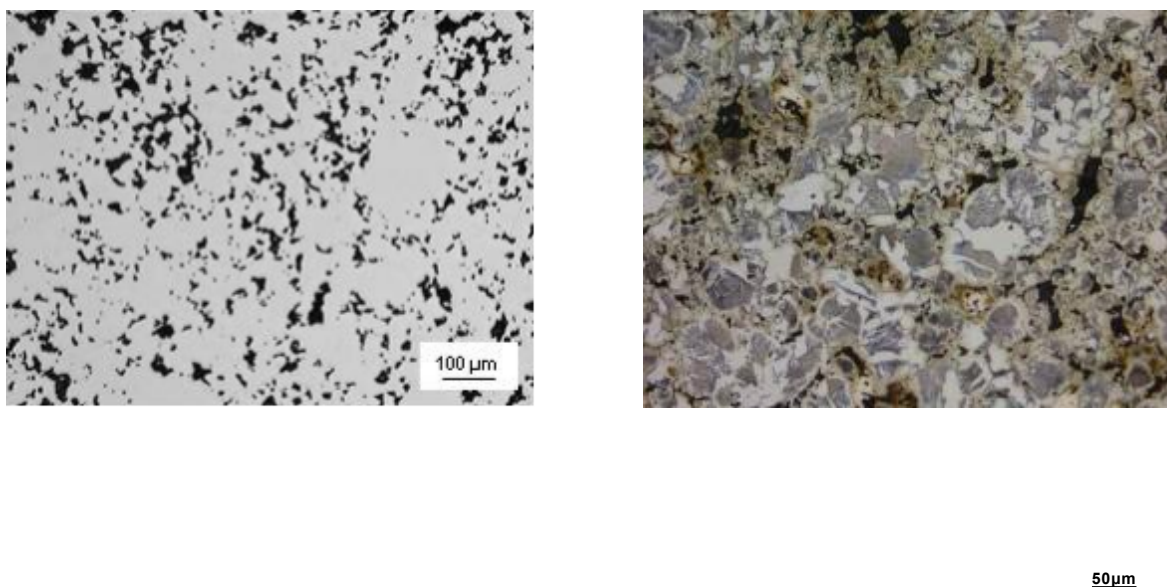


图 2 金相图片及标尺示例

5. 参考图谱

5.1 烧结铁基零件的密度、化学成分以及处理工艺对金相检验有较大的影响。本文件的附录为典型烧结铁基零件的金相图谱。通过这些图谱可为判断烧结铁基零件的显微组织提供参考。

常见烧结铁基零件的孔隙结构、烧结态和热处理态显微组织见附录 B 到附录 N。烧结铁基零件的典型缺陷见附录 O。烧结铁基零件的表面处理层见附录 P。铁基粉末冶金的材料代号大部分根据 GB/T 19076 的规范确定，金属注射成形的材料代号根据 GB/T 38981 的规范确定。有部分金相显微组织未标明材料代号的，在下方标注了材料成分和制备工艺。材料配比中未特别注明，单位均为质量百分数。

5.2 还原铁粉和雾化铁粉制品的孔隙结构（见附录 B）。

5.3 不同烧结条件下雾化铁粉制品的孔隙结构（见附录 C）。

5.4 烧结铁基材料的显微组织如下：

- 烧结软磁材料的显微组织（见附录 D）
- 烧结铁碳材料显微组织（见附录 E）
- 烧结铁碳铜材料显微组织（见附录 F）
- 烧结渗铜材料显微组织（见附录 G）
- 烧结铁碳（铜）镍材料显微组织（见附录 H）
- 烧结铁碳铜镍钼材料显微组织（见附录 I）

- 烧结预合金钢材料显微组织（见附录J）
 - 烧结钨镍合金钢材料显微组织（见附录 K）
 - 烧结硬化材料显微组织（见附录L）
 - 烧结不锈钢显微组织（见附录 M）
 - MIM 材料的显微组织（见附录 N）
- 5.5 烧结铁基零件的典型缺陷（见附录 O）

5.6 烧结铁基零件的表面处理层（见附录 P）

6. 报告

除非双方另有约定，金相报告应至少应包含以下信息：

- 试样的取样位置和方向；
- 原材料化学成分；
- 试样制备的工艺参数；
- 浸蚀剂；
- 金相图片及显微组织描述；
- 结论；
- 报告日期。

附录A
(资料性)

常见铁基粉末冶金材料的浸蚀剂

序号	浸蚀剂	适用材料体系	目的	浸蚀步骤
1	1~2 vol%硝酸乙醇溶液： 1~2 ml 硝酸+99~98 ml 乙醇	纯铁 碳钢 含铜碳钢 常见预合金钢	显示铁素体、晶界、 珠光体、渗碳体、 贝氏体、马氏体和 残余奥氏体。	室温下浸蚀，乙醇冲 洗，干燥
2	4 vol%硝酸乙醇溶液： 4 ml 硝酸+96 ml 乙醇	铁磷软磁材料	区分贫磷区和富磷 区； 显微镜下散焦时贫 磷区明亮，富磷区 暗淡。	室温下浸蚀，乙醇冲 洗，干燥
3	苦味酸乙醇溶液： 4 g 苦味酸+100 ml 乙醇	预混镍的合金钢 预混铜的合金钢	显示富镍奥氏体及 马氏体； 显示铜扩散区域。	室温下浸蚀，水冲洗 后乙醇冲洗，干燥
4	硝酸苦味酸乙醇混合溶液： 50ml 1vol%~2vol%硝酸乙醇 溶液+50ml 苦味酸乙醇溶液 或者 25ml 1vol%~2vol%硝 酸乙醇溶液+75ml 苦味酸乙醇 溶液 或者 75ml 1vol%~2vol%硝 酸乙醇溶液+25ml 苦味酸乙醇 溶液	低铬钢 其他常见低合金 钢	显示烧结、烧结硬 化和热处理后组 织； 区分低铬合金钢中 贝氏体和马氏体； 区分铜扩散区马氏 体形貌。	室温下浸蚀，水冲洗 后乙醇冲洗，干燥

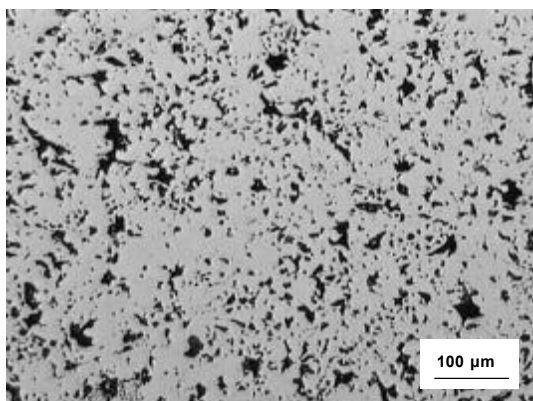
5	75 ml 水+25 g 氢氧化钠+2 g 苦味酸		区分铁素体和渗碳体，渗碳体染成黑色而铁素体不变色。	水浴加热，浸蚀，水冲洗后乙醇冲洗，干燥
---	---------------------------	--	---------------------------	---------------------

	100 ml 乙醇+2 g 苦味酸+1 ml 浓盐酸	工具钢 400 系不锈钢	显示马氏体、碳化物； 显示不锈钢中的铁素体晶粒。	室温下浸蚀，水冲洗后乙醇冲洗，干燥
6	甘油硝酸盐溶液 Glycerigia 45 ml 甘油+15 ml 硝酸+30 ml 盐酸	300 系不锈钢 高铬 400 系不锈钢	显示奥氏体晶粒及孪晶结构； 显示碳化物、氮化物； 显示高铬 400 系铁素体不锈钢晶粒。	室温下浸蚀，乙醇冲洗，干燥（浸蚀液不能密封保存，变橙色后丢弃）
7	村上溶液 Murakami: 溶液 A 10 g 铁氰化钾+100 ml 水 溶液 B 10 g 氢氧化钾+100 ml 水	不锈钢	区分不锈钢中的碳化物、氮化物，碳化物染色，氮化物基本不染色	室温下浸蚀，水冲洗后乙醇冲洗，干燥 （溶液A 和B 可预先配制保存，使用时混合）
8	苦味酸饱和水溶液： 100 ml 水+1.5g 苦味酸+3g 清洁剂	烧结硬化及热处理低合金钢	显示原始奥氏体晶界。	80℃水浴加热，浸蚀，水冲洗后乙醇冲洗，干燥

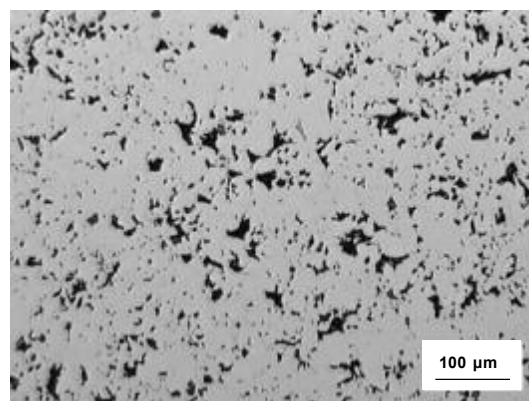
附录B
(资料性)

还原铁粉和雾化铁粉制品的孔隙结构

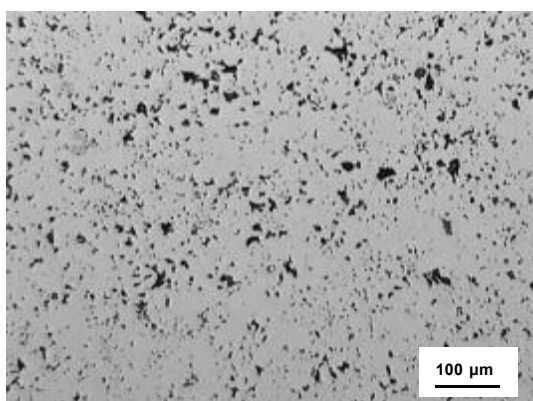
还原铁粉制品的孔隙结构如图 B.1 所示。



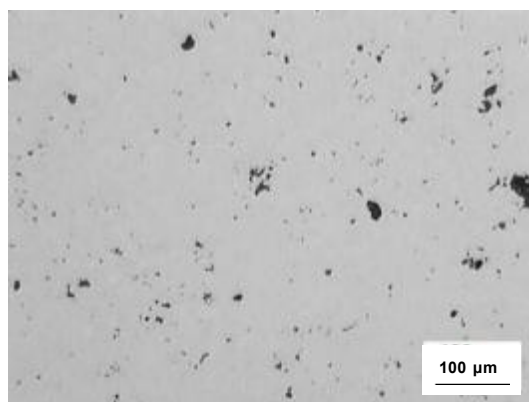
Fe (还原)+0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 6.65g/cm³, 孔隙率: 15.5%



Fe (还原)+0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 7.02 g/cm³, 孔隙率: 10.7%



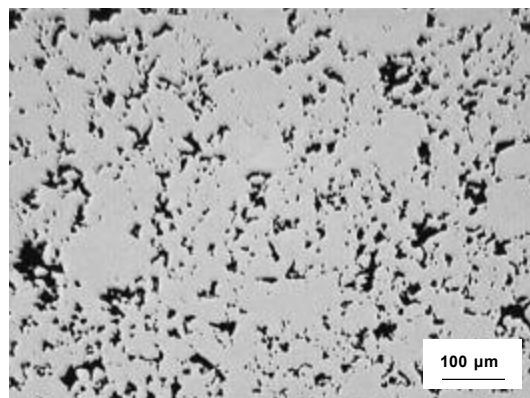
Fe (还原)+0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 7.20 g/cm³, 孔隙率: 8.5%



Fe (还原)+0.5%C, 粉末锻造;
烧结密度: 7.85 g/cm³, 孔隙率: 0.25%

图 B.1 还原铁粉制品的孔隙结构

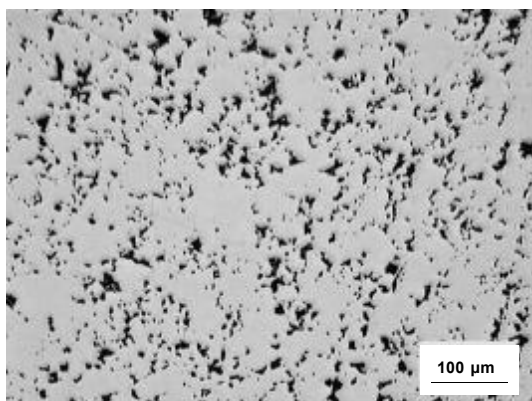
雾化铁粉制品的孔隙结构如图 B.2 所示。



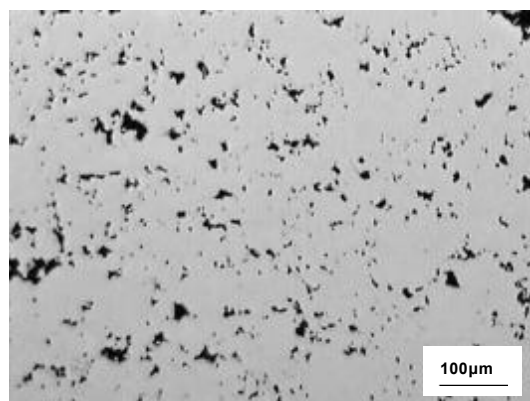
Fe (雾化) +0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 7.07 g/cm³; 孔隙率: 10.1%

100 μm

Fe (雾化) +0.5%C, 1120°C, 烧结 30min,
烧结密度: 6.82 g/cm³; 孔隙率: 13.2%

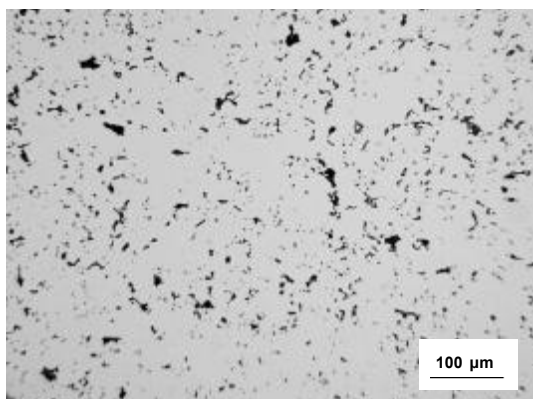


Fe (雾化) +0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 7.20 g/cm³; 孔隙率: 8.5%

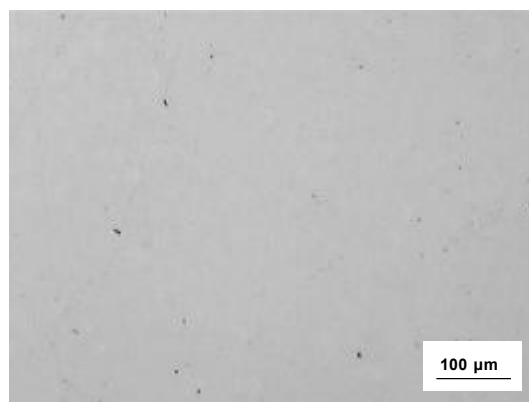


Fe (雾化) +0.5%C, 1120°C, 烧结 30min;
烧结密度: 7.38 g/cm³; 孔隙率: 6.3%

图 B.2 雾化铁粉制品的孔隙结构



Fe (雾化) +0.5%C, 1120°C, 两次压制烧结
烧结密度: 7.59 g/cm³; 孔隙率: 3.5%



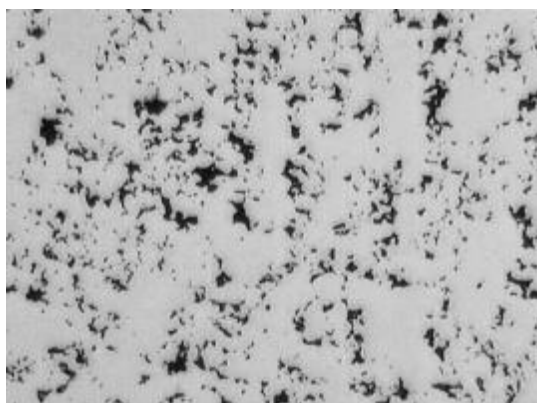
Fe (雾化) +0.5%C, 粉末锻造
烧结密度: 7.85 g/cm³; 孔隙率: 0.25%

图 B.2 雾化铁粉制品的孔隙结构 (续)

附录 C
(资料性)

不同烧结条件下雾化铁粉制品的孔隙结构

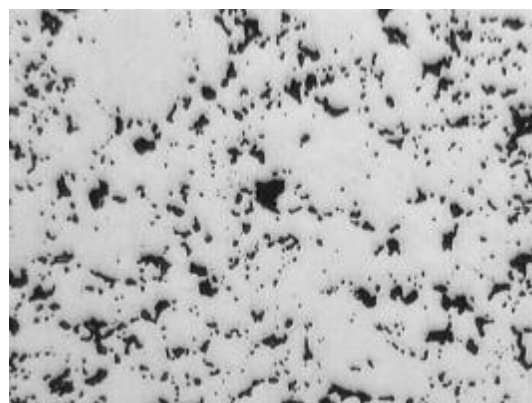
不同烧结条件下雾化铁粉制品的孔隙结构如图 C.1 所示。



100 μm

材料代号: F-00 (雾化)

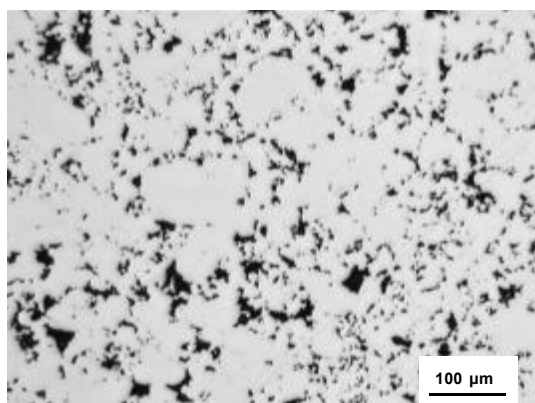
压制密度: 7.1 g/cm³, 1120°C, 烧结 30min



100 μm

材料代号: F-00 (雾化)

压制密度: 7.1 g/cm³, 1250°C, 烧结 30min



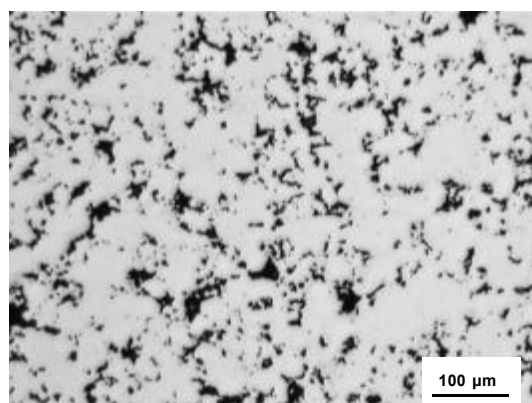
100 μm

材料代号: FD-05N4C

扩散粘接合金钢

Fe+4.0%Ni+1.5%Cu+0.5%Mo+0.45%C

压制密度: 7.0 g/cm³, 1120°C, 烧结 15min



100 μm

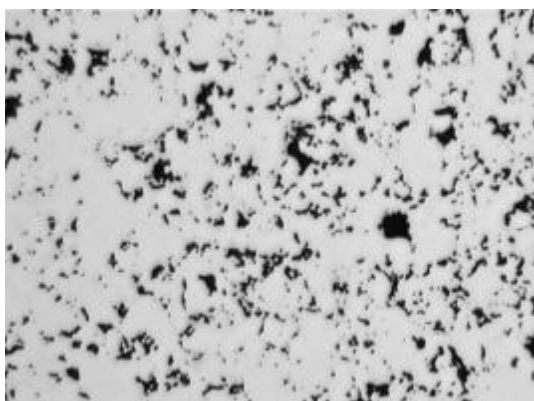
材料代号: FD-05N4C

扩散粘接合金钢

Fe+4.0%Ni+1.5%Cu+0.5%Mo+0.45%C

压制密度: 7.1 g/cm³, 1120°C, 烧结 30min

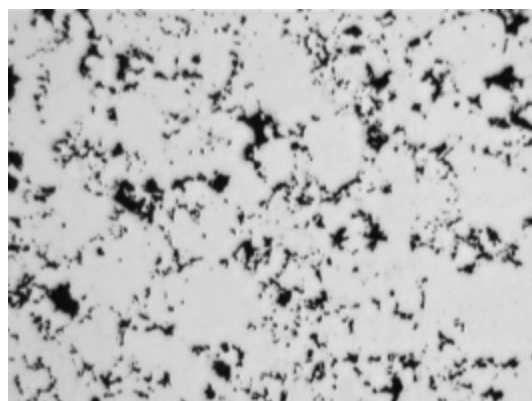
图 C.1 不同烧结条件下雾化铁粉制品的孔隙结构



100 μm

材料代号: FD-05N4C
扩散粘接合金钢

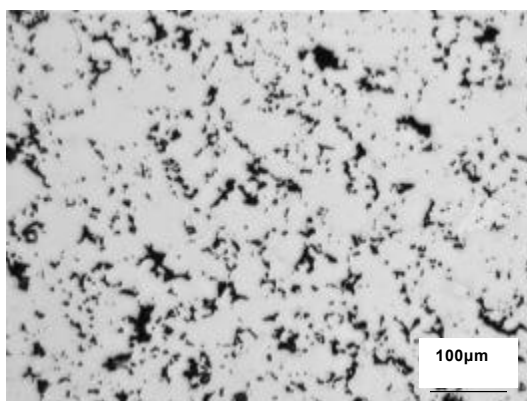
Fe+4.0%Ni+1.5%Cu+0.5%Mo+0.45%C
压制密度: 7.1 g/cm³, 1120°C, 烧结 45min



100 μm

材料代号: FD-05N4C
扩散粘接合金钢

Fe+4.0%Ni+1.5%Cu+0.5%Mo+0.45%C
压制密度: 7.1 g/cm³, 1090°C, 烧结 30min



材料代号: FD-05N4C
扩散粘接合金钢

Fe+4%Ni+1.5%Cu+0.5%Mo+0.45%C

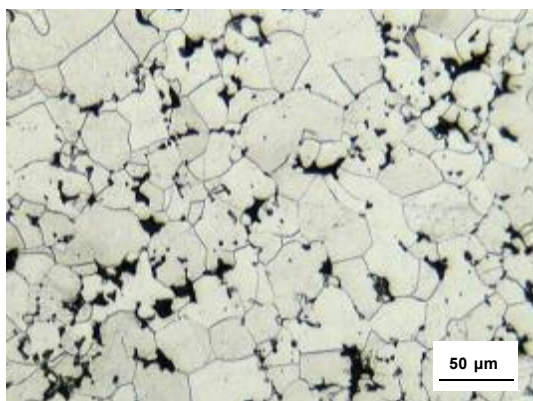
压制密度: 7.1 g/cm^3 , 1150°C , 烧结 30min

图 C.1 不同烧结条件下雾化铁粉制品的孔隙结构 (续)

附录D
(资料性)

烧结软磁材料的显微组织

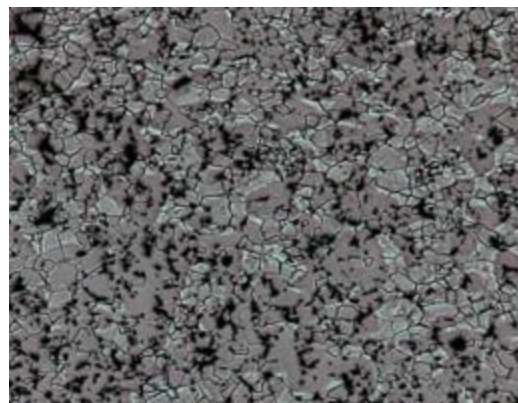
烧结软磁材料的显微组织如图 D.1 所示。



材料代号: F-00

Fe (雾化), 1120°C, 烧结 30min

铁素体



50 μm

材料代号: F-00P05

Fe (雾化) +0.45%P, 1120°C, 烧结 30min

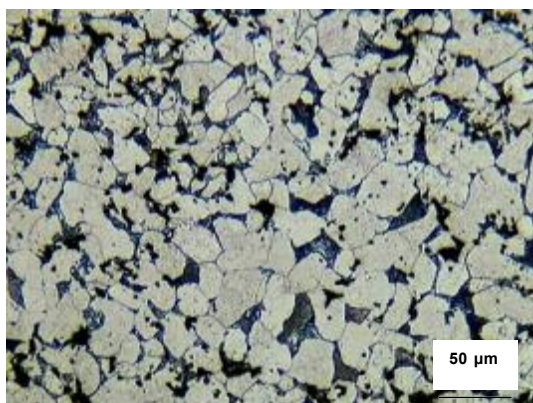
铁素体, 亮区: 贫磷相, 暗区: 富磷相

图 D.1 烧结软磁材料的显微组织

附录E
(资料性)

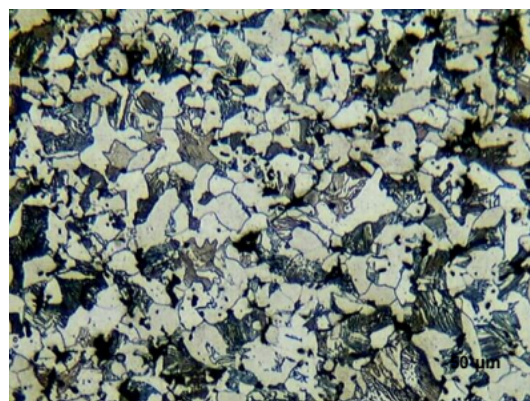
烧结铁碳材料的显微组织

铁碳材料的烧结态显微组织如图 E.1 所示。



材料代号：F-00

Fe (雾化) +0.2%C (烧结碳含量：0.2%)
1120°C, 烧结 30min
铁素体, 少量珠光体



材料代号：F-05

Fe (雾化) +0.5%C (烧结碳含量：0.48%)
1120°C, 烧结 30min
珠光体, 铁素体



材料代号: F-08

Fe (雾化) +0.8%C (烧结碳含量: 0.77%)
1120°C, 烧结 30min

珠光体, 少量铁素体

图 E. 1 烧结铁碳材料的显微组织

烧结铁碳材料的热处理态显微组织如图 E.2 所示。



回火温度 170℃+ (60-90) min

马氏体, 少量珠光体

20 μm

材料代号: F-00

Fe+0.3%C (表面)

渗碳热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170℃+ (60-90) min

马氏体, 少量珠光体

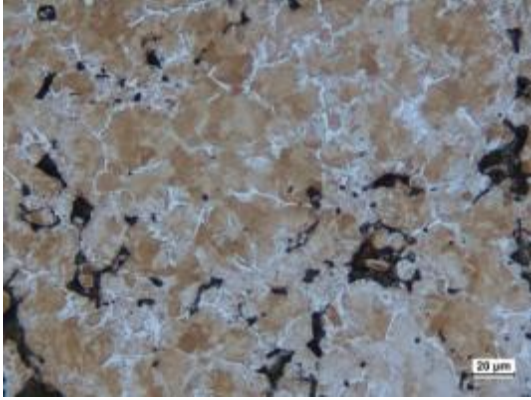


20 μm

材料代号: F-05

Fe+0.6%C (表面)

渗碳热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %



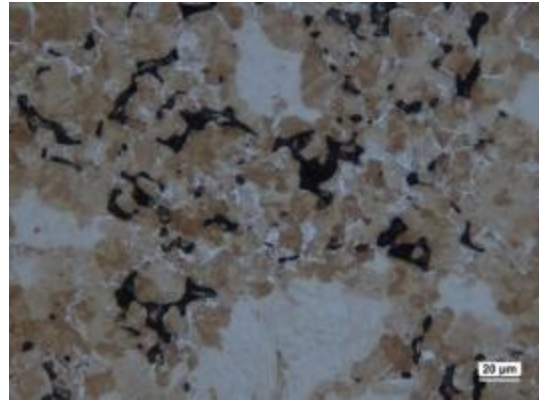
20 μm

材料代号: F-00
Fe+0.3%C (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

珠光体, 少量铁素体



20 μm

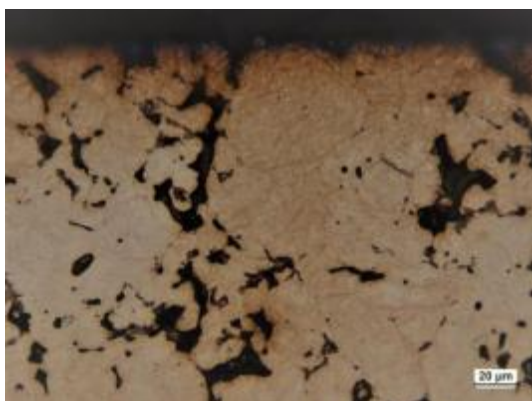
材料代号: F-05
Fe+0.6%C (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

珠光体, 少量铁素体

图 E. 2 烧结铁碳材料的热处理态显微组织



20 μm

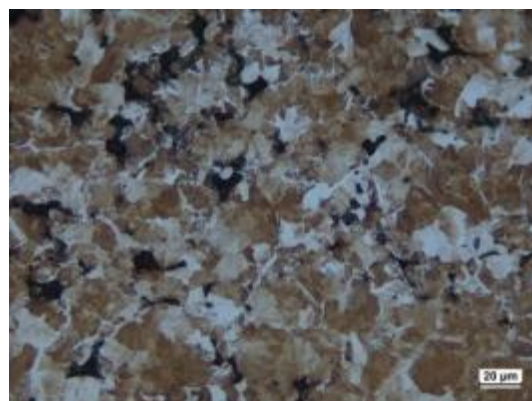
材料代号: F-08

Fe+0.9%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 少量珠光体



20 μm

材料代号: F-08

Fe+0.9%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

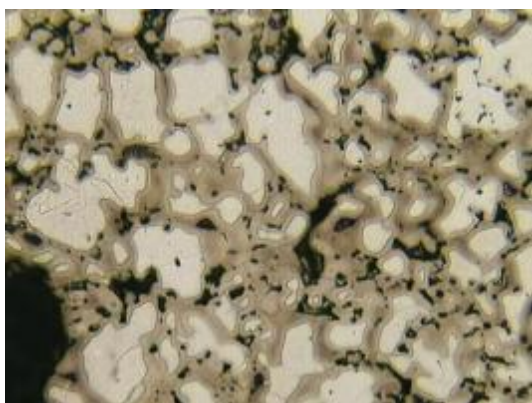
珠光体, 铁素体

图 E. 2 烧结铁碳材料的热处理态显微组织 (续)

附录F
(资料性)

烧结铁碳铜材料的显微组织

铁碳铜材料的烧结态显微组织如图 F.1 所示。



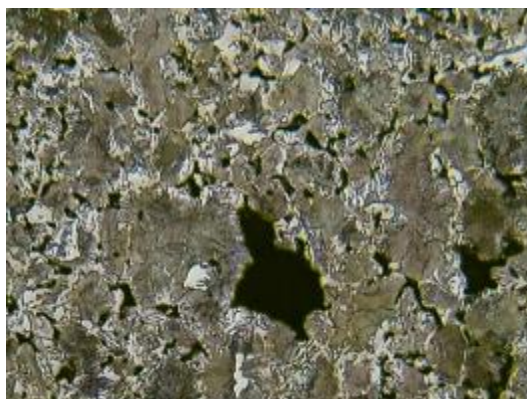
50 μm

材料代号: F-00C2
Fe (雾化) +2.0%Cu -100 目,
1120°C, 烧结 30min
铁素体



50 μm

材料代号: F-05C2
Fe (雾化) +2.0%Cu-100 目+0.5%C
(烧结碳含量: 0.45%)
1120°C, 烧结 30min
珠光体, 铁素体



50 μm

材料代号: F-08C2

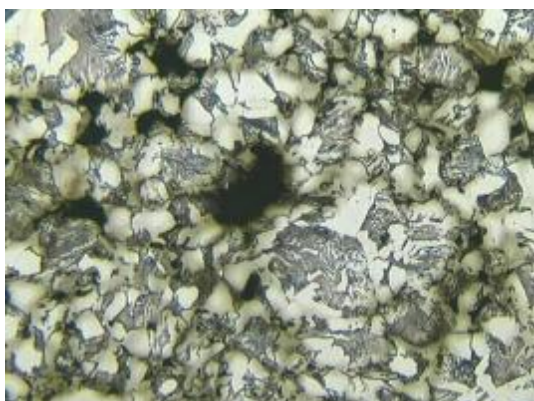
Fe (雾化) +2.0%Cu-100 目+0.8%C

(烧结碳含量: 0.73%)

1120°C, 烧结 30min

珠光体, 少量铁素体

图 F. 1 铁碳铜材料的烧结态显微组织



50 μm

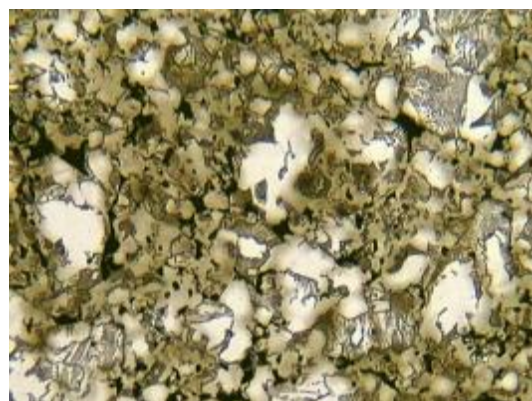
材料代号: F-05C2

Fe (雾化) +2.0%Cu -200 目+0.5%C

(烧结碳含量: 0.43%)

1120°C, 烧结 30min

珠光体, 铁素体



50 μm

材料代号: F-05C2

Fe (雾化) +2.0%扩散粘接 Cu+0.5%C

(烧结碳含量: 0.4 wt%)

1120°C, 烧结 30min

珠光体, 铁素体

图 F.1 铁碳铜材料的烧结态显微组织 (续)

烧结铁碳铜材料的热处理态显微组织如图 F.2 所示。



整体热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) % 回火温度 170℃+ (60-90) min
马氏体, 少量残余奥氏体, 细珠光体, 少量铁素体

20 μm

材料代号: F-00C2

Fe+0.3%C+2.0%Cu (表面)

渗碳热处理 830℃+60min, 碳势: (0.7-0.8) %

回火温度 170℃+ (60-90) min

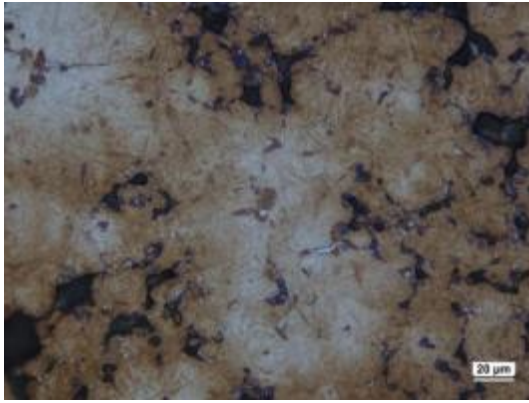
马氏体, 少量残余奥氏体



20 μm

材料代号: F-05C2

Fe+0.6%C+2.0%Cu (表面)



20 μm

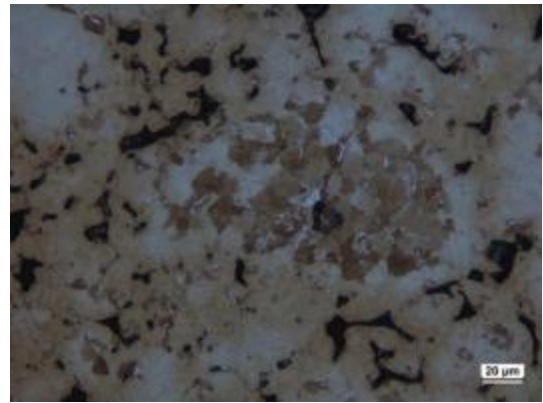
材料代号: F-00C2

Fe+0.3%C+2.0%Cu (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.7-0.8) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 细珠光体, 少量铁素体



20 μm

材料代号: F-05C2

Fe+0.6%C+2.0%Cu (心部)

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 细珠光体, 少量铁素体

图 F. 2 烧结铁碳铜材料的热处理态显微组织



20 μm

20 μm

材料代号: F-08C2

Fe+0.9%C+2.0%Cu (表面)

%Cu (表面)

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.7-0.8) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 少量残余奥氏体

材料代号: F-08C2

Fe+0.9%C+2.0%Cu (心部)

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.7-0.8) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

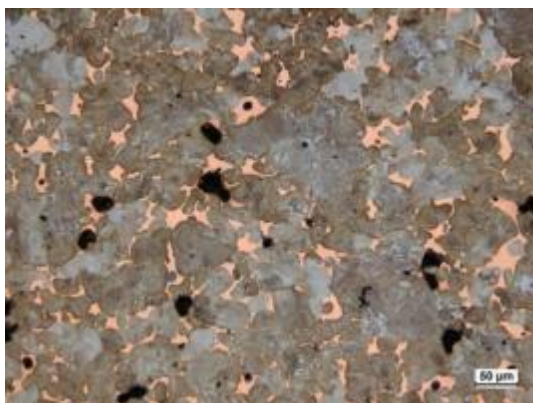
马氏体, 少量残余奥氏体, 细珠光体

图 F.2 烧结铁碳铜材料的热处理态显微组织 (续)

附录G
(资料性)

烧结渗铜材料的显微组织

烧结渗铜材料的显微组织如图 G.1 所示。



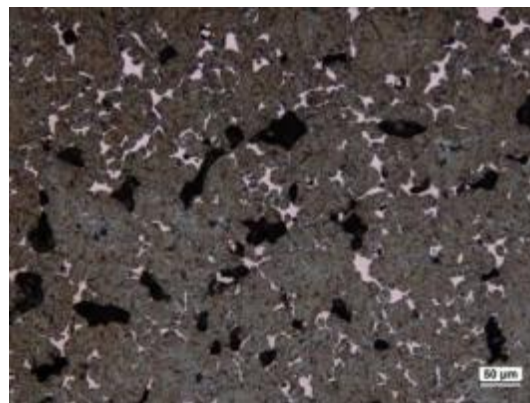
50 μm

材料代号: FX-08C20

基体 Fe+2.0%Cu+0.7%C

1120℃, 烧结 20min, 冷速 0.4℃/s

珠光体, 富铜相, 铁素体



50 μm

材料代号: FX-08C20

基体 Fe+2.0%Cu+0.7%C

整体热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7)%

回火温度 170℃+ (60-90) min

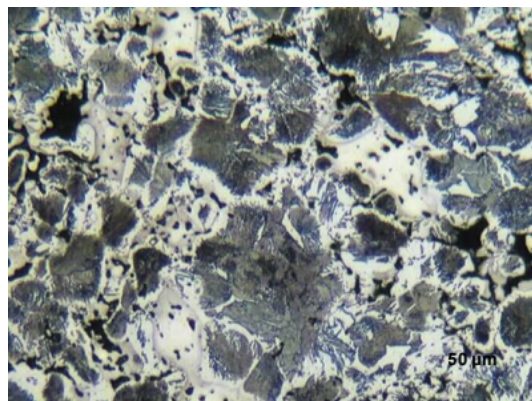
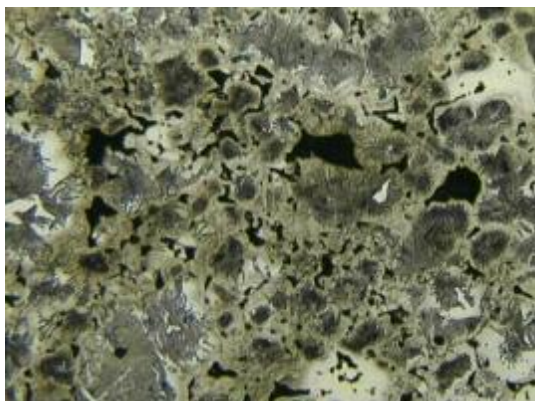
马氏体, 残余奥氏体, 富铜相

图 G.1 烧结渗铜材料的显微组织

附录 H
(资料性)

铁碳(铜)镍的显微组织

铁碳(铜)镍烧结态的显微组织如图 H.1 所示。



50 μm

材料代号: F-05N2

Fe+2.5%Ni+2.5%Cu+0.6%C

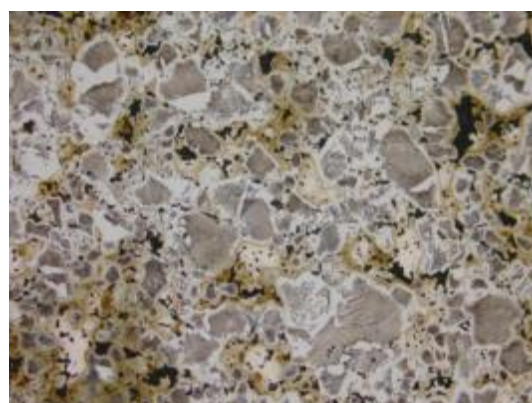
1120°C, 烧结 30min, 普通冷却

珠光体, 马氏体, 铁素体, 富镍奥氏体

材料代号: F-05N2

Fe+2.5%Ni+0.6%C

1120°C, 烧结 30min, 普通冷却



50 μm

材料代号: F-05N2

Fe+1.75%Ni+1.5%Cu+0.5%C

1120°C, 烧结 30min, 普通冷却

珠光体, 马氏体, 铁素体, 富镍奥氏体

材料代号: F-05N4

Fe(雾化)+4%Ni+1.5%Cu+0.5%C

1120°C, 烧结 30min, 普通冷却

珠光体, 马氏体, 铁素体, 富镍奥氏体

图 H.1 铁碳（铜）镍烧结态的显微组织

烧结铁碳（铜）镍的热处理态显微组织如图 H. 2 所示。



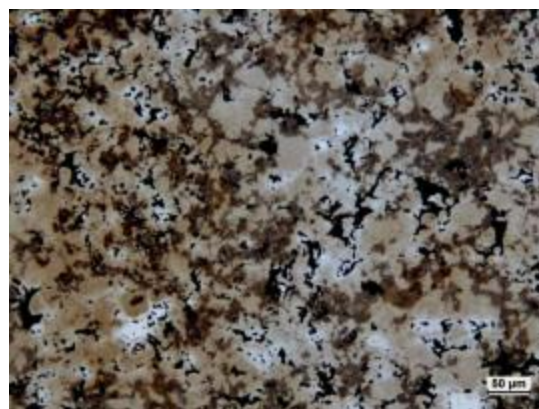
50 μm

材料代号: F-05N2

Fe+1.5%Ni+0.35%C (表面)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体



50 μm

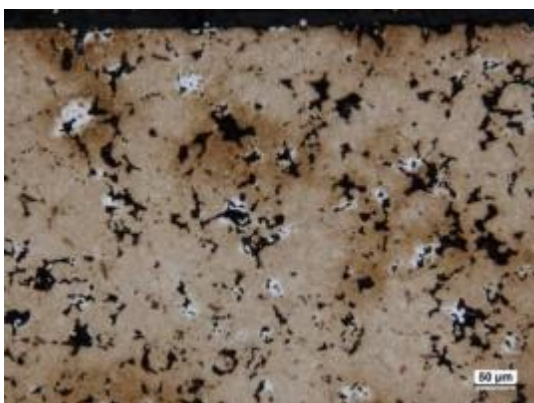
材料代号: F-05N2

Fe+1.5%Ni+0.35%C (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

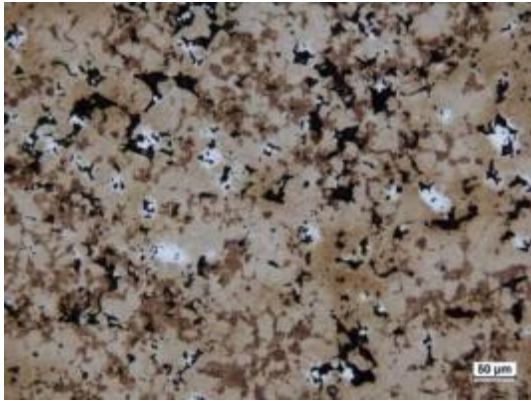


50 μm

材料代号: F-05N2

Fe+1.5%Ni+1.0%Cu+0.35%C (表面)

马氏体，残余奥氏体，富镍奥氏体，细珠光体，铁素体



50 μm

材料代号：F-05N2

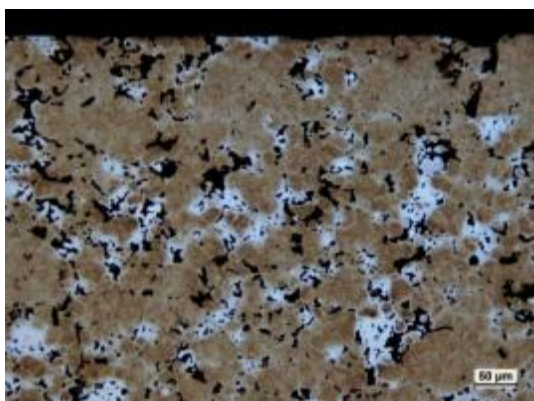
Fe+1.5%Ni+1.0%Cu+0.35%C（心部）

渗碳热处理 830℃+60min，碳势：(0.6-0.7)%

回火温度 170℃+ (60-90) min

马氏体，残余奥氏体，富镍奥氏体，细珠光体

图 H. 2 烧结铁碳（铜）镍的热处理态显微组织



回火温度 170℃+ (60-90) min
马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

50 μm

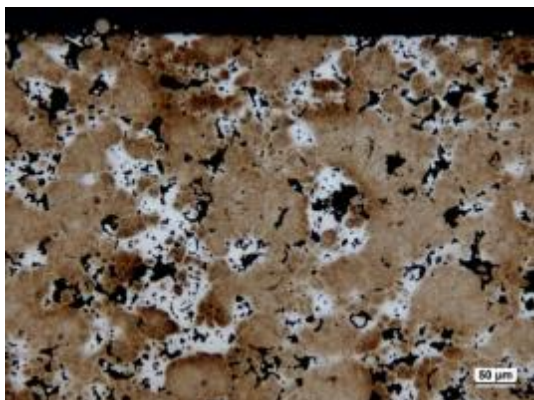
材料代号: F-05N4

Fe+4.0%Ni+0.35%C (表面)

渗碳热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170℃+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

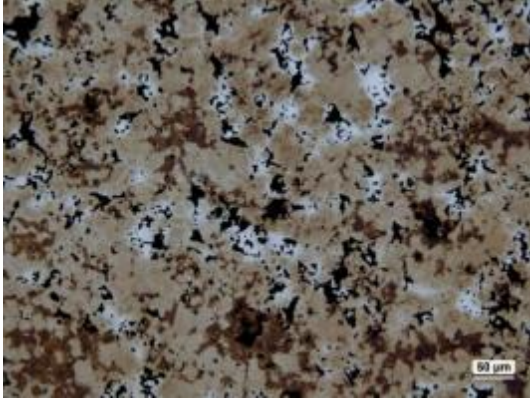


50 μm

材料代号: F-05N4

Fe+4.0%Ni+1.0%Cu+0.35%C (表面)

渗碳热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %



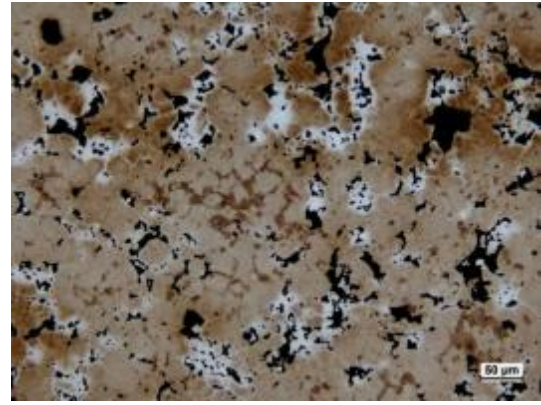
50 μm

材料代号: F-05N4

Fe+4.0%Ni+0.35%C (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) % 回
火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体, 细珠光体



50 μm

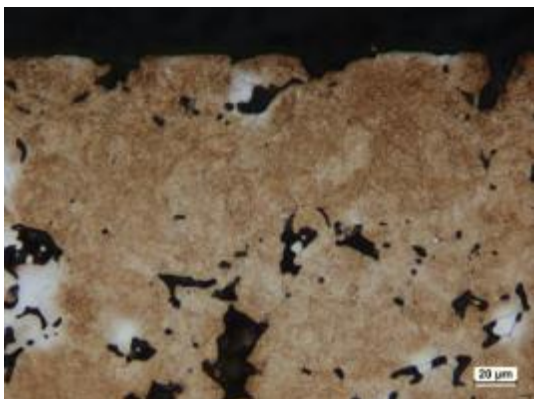
材料代号: F-05N4

Fe+4.0%Ni+1.0%Cu+0.35%C (心部)

渗碳热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %
回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体, 细珠光体

图 H. 2 烧结铁碳(铜)镍的热处理态显微组织(续)



回火温度 170℃+ (60-90) min
马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

20 μm

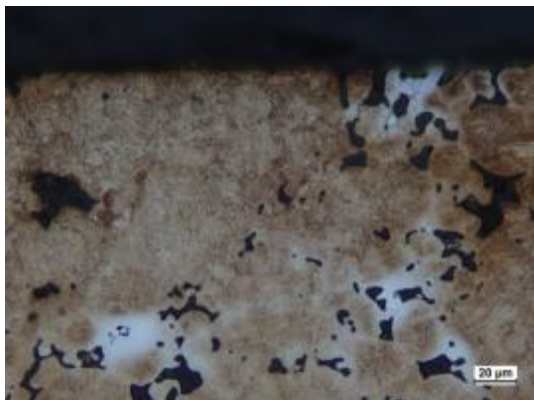
材料代号: F-05N2

Fe+1.5%Ni+0.6%C

整体热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170℃+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

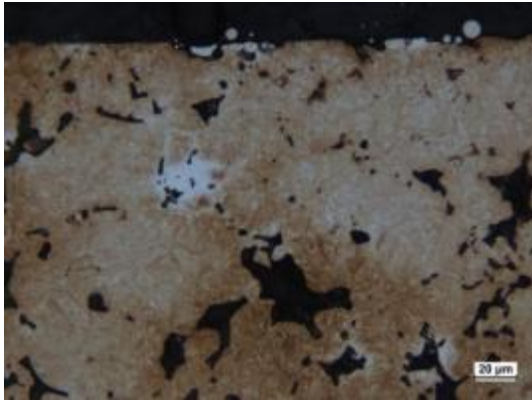


20 μm

材料代号: F-05N4

Fe+4.0%Ni+0.6%C

整体热处理 830℃+60min, 碳势: (0.6-0.7) %



20 μm

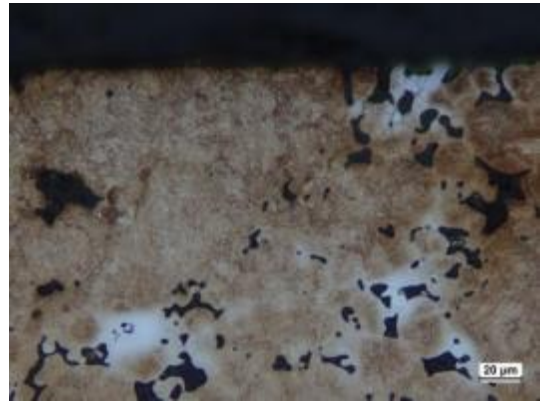
材料代号: F-05N2

Fe+1.5%Ni+1.0%Cu+0.6%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体



20 μm

材料代号: F-05N4

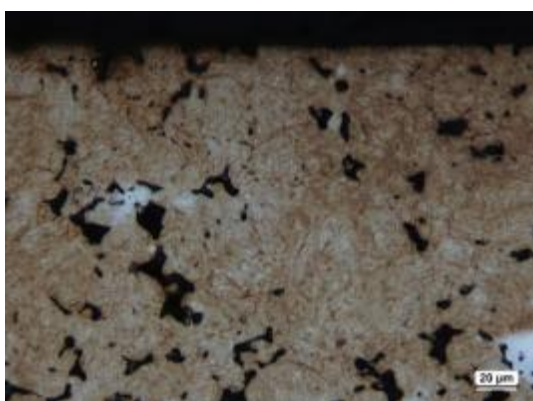
Fe+4.0%Ni+1.0%Cu+0.6%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

图 H.2 烧结铁碳(铜)镍的热处理态显微组织(续)



20 μm

材料代号: F-08N2

Fe+1.5%Ni+0.9%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体



20 μm

材料代号: F-08N2

Fe+1.5%Ni+1.0%Cu+0.9%C

整体热处理 830°C+60min, 碳势: (0.6-0.7) %

回火温度 170°C+ (60-90) min

马氏体, 残余奥氏体, 富镍奥氏体

//图 H. 2 烧结铁碳(铜)镍的热处理态显微组织(续)

以上内容仅为本文档的试下载部分, 为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文, 请访问:

<https://d.book118.com/196040022113011001>