

ICS 27.100
F 20

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2054—2019

电力建设焊接接头 金相检验与评定技术导则

Metallography inspection and assessment guideline of welding joints in
electric power construction

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 一般规定	1
4 试样制备	3
5 宏观金相检验与评定	4
6 微观金相检验与评定	4
7 检验记录与报告	5
附录 A (资料性附录) 焊接接头常见宏观缺陷图片	6
附录 B (资料性附录) 焊接接头各区金相显微组织特征	12
附录 C (资料性附录) 焊接裂纹类型及微观特征	13
附录 D (资料性附录) 常见焊接接头金相组织图片	14

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—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。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会（DL/TC 23）归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院有限公司、北京国电富通科技发展有限责任公司、西安热工研究院有限公司、苏州热工研究院有限公司、中国能建安徽电力建设第一工程有限公司、江苏方天电力技术有限公司、中国能建浙江火电建设有限公司、辽宁省电力有限公司电力科学研究院、山东电力建设第三工程有限公司。

本标准主要起草人：周左平、王然、郭军、王彩侠、赵彦芬、孙磊、郝冬生、杨超、张春有、李宏强、赵亮、张路、王宇楠、牟军、叶建弘、乔亚霞、吕伶俐、杨庆旭。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

电力建设焊接接头金相检验与评定技术导则

1 范围

本标准规定了焊接接头金相检验的人员、设备、试样管理与制备、检验、图像采集与分析、结果评定以及检验报告的技术要求。

本标准适用于电力建设焊工技术考核、焊接工艺评定以及电力设备制造、安装过程中焊接接头的金相检验与评定。电站部件更换中涉及的焊接接头金相检验与评定可参照执行。

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 13298 金属显微组织检验方法
- GB/T 13299 钢的显微组织评定方法
- DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 679 焊工技术考核规程
- DL/T 868 焊接工艺评定规程
- DL/T 869 火力发电厂焊接技术规程
- DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
- DL/T 931 电力行业理化检验人员考核规程

3 一般规定

3.1 检验人员

3.1.1 金相检验人员应取得初级（Ⅰ级）、中级（Ⅱ级）或高级（Ⅲ级）金相检验人员培训合格证书，从事与之相应的金相检验工作，并承担相应的技术责任。

3.1.2 初级金相检验人员应具备以下技术能力：

- a) 了解电力设备常用金属材料及焊接材料的主要化学成分、金相组织、焊接工艺、热处理工艺和常见缺陷；
- b) 熟悉与金相检验相关的国家标准、行业标准和企业标准，了解相关国外标准；
- c) 能独立操作检验设备并进行日常维护；
- d) 在中级或高级金相检验人员的指导下，能按照相关标准、检验方案和作业指导书实施由试样制备到组织和缺陷判别的全过程检验，并记录、分析检验结果。

3.1.3 中级金相检验人员应具备以下技术能力：

- a) 熟悉电力设备常用金属材料及焊接材料的主要化学成分、金相组织、焊接工艺、热处理工艺和常见缺陷；
- b) 熟悉与金相检验相关的国家标准、行业标准和企业标准，熟悉相关国外标准；
- c) 能根据金属材料及焊接材料的化学成分、焊接工艺、热处理工艺和相关标准制定检验方案和作业指导书；

- d) 熟悉检验设备的工作原理，能正确操作、日常维护和排除一般故障；
- c) 能独立实施由试样制备到组织和缺陷判别的全过程检验，记录、分析检验结果，编写检验报告；
- f) 审核和签发单项检验分析报告，并对检验分析结果负责；
- g) 编写综合性检验分析报告，并对检验分析结果负责；
- h) 指导初级金相检验人员的工作。

3.1.4 高级金相检验人员除应具备中级金相检验人员的技术能力外，还应具备以下技术能力：

- a) 制定、审核检验方案和作业指导书；
- b) 制定用于非标准检验的特殊检验方法、技术和工艺规程；
- c) 审核和签发综合性检验分析报告，并对检验分析结果负责；
- d) 指导初级、中级金相检验人员的工作。

3.1.5 对金相检验人员的其他要求见 DL/T 931。

3.2 检验设备与使用

3.2.1 金相检验设备包括金相试样切割机、镶嵌机、磨抛机、电解浸蚀设备、金相显微镜等，均应满足相关使用及安全要求。

3.2.2 金相显微镜的配置，包括放大倍率、物镜数值孔径、摄像头、暗场、偏光、微分干涉等参数和附件，应满足金相检验的技术要求。

3.2.3 实验室用金相显微镜应安装在干燥通风、无阳光曝晒、无振动、无腐蚀性气氛的室内，并置于稳固的桌面或基座上。室内温度宜保持在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度宜小于 70%。

3.2.4 现场用便携式金相显微镜应能观察到清晰的金相显微组织。具有采集功能的便携式金相显微镜应能采集到清晰的金相显微组织图像。

3.2.5 金相显微镜镜头应轻拿轻放，不得碰撞，手指不得触摸透镜表面。镜头表面有灰尘影响金相显微组织观察和图像采集时，可用洗耳球吹净，或用脱脂细软毛笔拂拭干净。镜头表面有油污时，可用擦镜头纸蘸取少许清洁剂（光学镜头防霉去污清洁剂）、二甲苯或乙醚擦拭干净。镜头应保存在专用的干燥器内，并经常检查确保无霉斑。

3.2.6 观察金相显微组织时，金相显微镜物镜和目镜的选择、光源的调整、滤色片的选择、孔径光阑和视场光阑的调节等，按照 GB/T 13298 的规定执行。

3.2.7 金相显微镜目镜中的刻度尺应采用测微标尺进行标定。测微标尺应检定合格，并在有效期内使用。对于配备图像分析软件的金相显微镜，应定期对图像分析软件的系统标尺进行验证、标定，系统标尺的标定按照图像分析软件说明书进行。

3.2.8 金相检验设备应按使用说明书或操作规程使用与维护。

3.3 试样与复型样品管理

3.3.1 金相试样应具有唯一性标识，标识应在金相检验全过程中保持清晰可辨。

3.3.2 制备好的金相试样应保持清洁、干燥，浸蚀面不得用手触摸，不得与其他物件碰撞。观察后及时放入干燥器内妥善保存，以防生锈、沾污、氧化。

3.3.3 制作好的金相复型样品应保持清洁、干燥和平整，复型面不得用手触摸。观察后平整地放入试样袋内，或贴在载玻片上置于样品盒中，以防翘曲变形、沾污。试样袋或载玻片样品盒应编号置于干燥器内妥善保存。

3.3.4 干燥器内的干燥剂应定期烘干或更换，保持干燥。

3.3.5 金相试样与复型样品的保存期限应按相关规定或双方协议确定。无要求时，试样应保存至少 3 个月。特别重要的试样应长期保存。

3.4 安全防护与环境保护

3.4.1 金相检验人员应掌握相关安全防护知识、具备安全防护意识，防止制样设备、危险化学品等造成人身伤害。

3.4.2 金相检验人员应掌握相关环境保护知识，遵守国家相关法律和法规，避免危险化学品造成环境污染。

4 试样制备

4.1 实验室试样制备

4.1.1 试样截取、镶嵌与标记

4.1.1.1 金相试样截取位置、方向和数量应根据检验目的、相关标准和双方协议确定。

4.1.1.2 焊接接头金相试样应截取垂直于焊缝轴线并包含焊缝、熔合区、热影响区和母材的全厚度试样。同种钢焊接接头试样至少应包含焊缝及其任一侧的熔合区、热影响区和母材；异种钢焊接接头试样应包含焊缝及其两侧的熔合区、热影响区和母材。当焊缝和热影响区位置无法判定时，可在截取试样前，通过适当浸蚀显示焊缝和热影响区。

4.1.1.3 在试样截取过程中，应采取措施避免试样因受热或受力而使金相显微组织发生变化。

4.1.1.4 试样尺寸过小、形状不规则或需要检验试样边缘时，应对试样进行镶嵌。试样镶嵌方法见 GB/T 13298，具体可按设备说明书操作。

4.1.1.5 对截取、镶嵌后的试样应标记唯一性标识，并记录该标识所代表的信息。标记方法和标识位置以能确保其在试样制备过程中不被磨损、遮蔽，且不会影响金相显微组织显示为原则。

4.1.2 试样研磨、抛光与浸蚀

4.1.2.1 试样可采用手工或机械研磨法研磨，采用机械、电解或化学抛光法抛光。相关方法具体参见 GB/T 13298 和 DL/T 884。

4.1.2.2 应根据试样母材牌号按 DL/T 884 等标准选择合适的宏观或微观浸蚀剂，浸蚀时间以能清晰显示金相组织的细节为宜，应避免因过度浸蚀而导致的组织失真现象。

4.1.2.3 宏观金相试样浸蚀后，若浸蚀过浅，应继续浸蚀至满足要求为止；若浸蚀过深，应重新研磨和浸蚀。

4.1.2.4 微观金相试样浸蚀后，若浸蚀过浅，应继续浸蚀至满足要求为止。若金相显微组织不能清晰显示，应重新抛光、浸蚀，必要时重新磨制。

4.1.2.5 异种钢焊接接头微观金相试样，应根据焊缝两侧母材牌号分别选用浸蚀剂。对两侧浸蚀剂不同的试样，应分步浸蚀、分步检验；为避免过度浸蚀，宜先对易腐蚀的一侧进行浸蚀和检验。

4.2 现场试样制备

4.2.1 检验区选择与记录

4.2.1.1 检验区位置和数量应根据检验目的、相关标准和双方协议确定。

4.2.1.2 焊接接头检验区应选择垂直于焊缝轴线并包含焊缝、熔合区、热影响区和母材的区域。同种钢焊接接头检验区至少应包含焊缝及其任一侧的熔合区、热影响区和母材；异种钢焊接接头检验区应包含焊缝及其两侧的熔合区、热影响区和母材。当焊缝和热影响区位置无法判定时，可通过适当浸蚀显示焊缝和热影响区。

4.2.1.3 检验区选定后，应以图示或文字方式记录检验区的位置及相关信息。

4.2.2 检验区研磨、抛光与浸蚀

4.2.2.1 检验区焊缝宜打磨至与母材同高，并去除氧化皮和脱碳层；若打磨难度较大，可打磨使焊缝向母材平滑过渡至不影响金相显微组织观察。

4.2.2.2 检验区研磨、抛光与浸蚀方法参照 4.1.2。

4.2.3 金相复型

4.2.3.1 在一般性现场金相检验中，可采用便携式金相显微镜在现场直接完成金相显微组织观察和图像采集。当检验区处于不易观察的位置或对观察结果有疑义时，宜在现场制作金相复型。

4.2.3.2 金相复型应按 DL/T 884 的要求制作。当焊接接头各区跨度大、制作一张复型不能满足要求时，可制作多张复型以覆盖焊接接头各区。

4.2.3.3 制作金相复型时，检验区的浸蚀可较一般试样略深，或向有机溶剂中加入适量着色剂。

5 宏观金相检验与评定

5.1 宏观金相检验

5.1.1 焊接接头宏观金相检验是指用肉眼或低倍光学仪器（一般放大倍数小于 50 倍）检查焊接接头中的气孔、夹渣、未熔合、未焊透、焊接裂纹等宏观缺陷。若委托方要求检查焊道尺寸和数量，可采取宏观金相检验方法进行检查。

5.1.2 应按 DL/T 679、DL/T 868 等标准的要求取样进行焊接接头宏观金相检验。

5.1.3 发现宏观缺陷时，应记录缺陷的性质、尺寸与位置，必要时可采用绘制简图或拍摄照片的方式进行记录。拍摄宏观缺陷照片时应加注标尺，以确定图像放大倍数。焊接接头常见宏观缺陷图片参见附录 A。

5.2 结果评定

5.2.1 焊接接头宏观金相检验结果应符合下列要求：

- a) 无裂纹；
- b) 无未熔合；
- c) 要求焊透的焊缝无未焊透现象。

5.2.2 焊工技术考核中的焊接接头宏观金相检验结果，应按 DL/T 679 的规定评定。

5.2.3 焊接工艺评定中的焊接接头宏观金相检验结果，应按 DL/T 868 的规定评定。

5.2.4 双方有协议时，应按协议规定对焊接接头宏观金相检验结果进行评定。

6 微观金相检验与评定

6.1 微观金相检验

6.1.1 焊接接头微观金相检验是指通过光学或电子显微镜（一般放大倍数大于 50 倍）观察焊接接头各区金相显微组织的组成相及其形态、大小、分布和数量，并根据相关标准对晶粒度、非金属夹杂物、脱碳层、魏氏组织、微观裂纹、焊接缺陷等进行评定。

6.1.2 在对焊接接头进行微观金相检验前，应了解母材及焊接材料的化学成分、母材原始组织、焊接工艺及热处理工艺等，明确检验目的。

6.1.3 焊接接头微观金相检验可按焊缝、熔合区、过热区、重结晶区、不完全重结晶区、母材分区检验，其中焊缝、熔合区、过热区和母材为必检区。同种钢焊接接头至少应对焊缝及其任一侧各区进行

检验；异种钢焊接接头应对焊缝及其两侧各区进行检验。奥氏体不锈钢焊接接头，应按焊缝、熔合区、热影响区和母材分区检验。焊接接头各区金相显微组织特征参见附录 B。

6.1.4 对经焊后热处理的焊接接头，检验时应考虑焊接热处理工艺对各区金相显微组织的影响。

6.1.5 微观金相检验时，可在试样浸蚀前和浸蚀后，通过观察裂纹源区、形态和扩展特征，分析焊接裂纹类型及形成原因。焊接裂纹类型及微观特征参见附录 C。

6.1.6 观察金相显微组织时，应首先对焊接接头全貌进行低倍观察，然后再分区进行高倍观察。常见焊接接头金相组织图片参见附录 D。

6.1.7 金相显微组织形貌可采用光学照相或数码成像的方法采集、记录。

6.1.8 采集图像时，应根据金相显微组织特征选择放大倍数，以能清晰显示金相显微组织特征为宜。图像放大倍数应通过图像上加注标尺或其他方法记录。

6.1.9 同种钢焊接接头至少应在焊缝及其任一侧热影响区和母材三个区域采集图像，并记录图像采集信息；异种钢焊接接头至少应在焊缝及其两侧热影响区和母材五个区域采集图像，并记录图像采集信息。

6.1.10 发现缺陷时，应单独采集图像，并通过简图或文字方式记录缺陷的性质、尺寸与位置。

6.1.11 需要进行定量金相分析时，按照 DL/T 884 等标准的要求执行。

6.2 结果评定

6.2.1 焊接接头微观金相检验结果应符合下列要求：

- a) 无裂纹；
- b) 非过热区无过热组织；
- c) 无淬硬性马氏体组织。

6.2.2 焊工技术考核中的焊接接头微观金相检验结果，应按 DL/T 679 的规定评定。

6.2.3 焊接工艺评定中的焊接接头微观金相检验结果，应按 DL/T 868 的规定评定。

6.2.4 电力设备制造、安装中焊接接头的微观金相检验结果，应按 DL/T 869、DL/T 438 的规定评定。

6.2.5 魏氏组织应按 GB/T 13299 的规定评级。

6.2.6 双方有协议时，应按协议规定对焊接接头微观金相检验结果进行评定；没有规定的，可参照附录 D 中相应母材牌号、浸蚀剂、焊接和热处理条件的金相显微组织评定。

7 检验记录与报告

检验记录与报告应包括但不限于下列内容：

- a) 委托单位、工程名称和执行标准。
- b) 工件名称、规格，母材和焊接材料牌号，焊接工艺和热处理工艺等。
- c) 试样（检验区）部位、数量、编号。
- d) 浸蚀方法和浸蚀剂。
- e) 检验设备名称和编号。
- f) 检验结果和图像。图像应标示放大倍数，并说明宏观形貌或金相显微组织特征；若有非正常组织或缺陷，应说明其性质、尺寸与位置，必要时附示意图。
- g) 检验记录或检验报告日期、编号。
- h) 检验、审核人员签字。

附录 A
(资料性附录)
焊接接头常见宏观缺陷图片

焊接接头常见宏观缺陷图片见图 A.1~图 A.12。

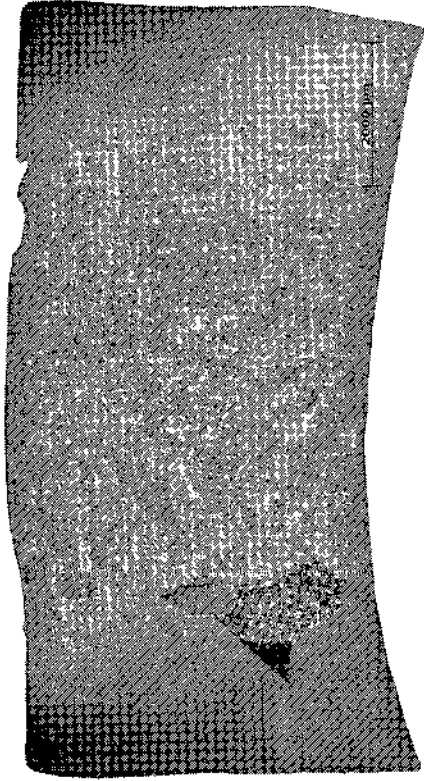


图 A.1 坡口未熔合 (一)

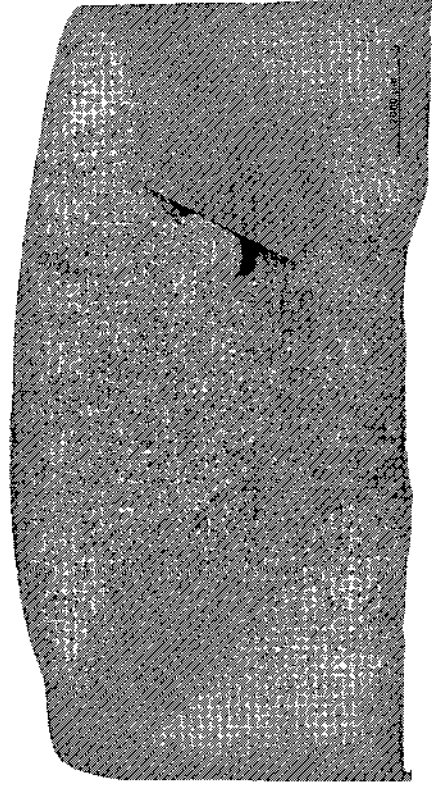


图 A.2 坡口未熔合 (二)

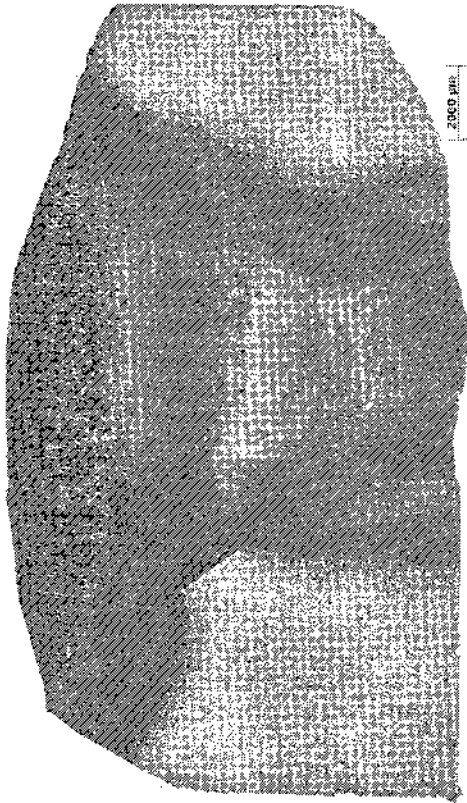


图 A.3 坡口未熔合 (三)

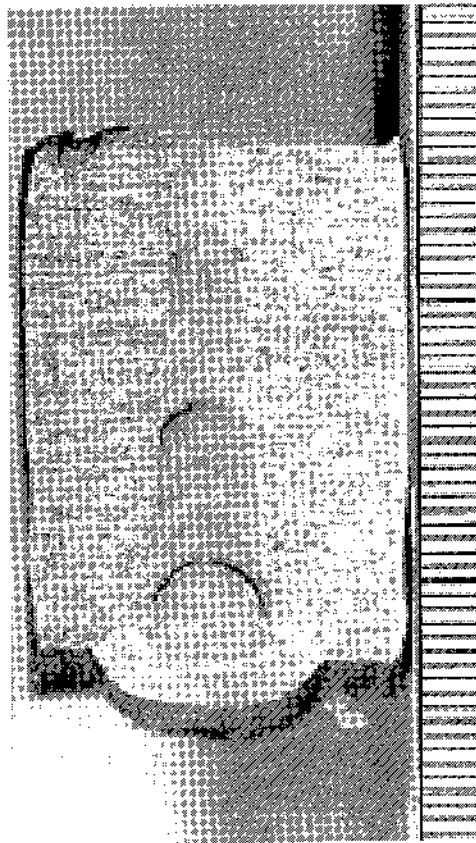


图 A.4 焊道间未熔合、夹渣

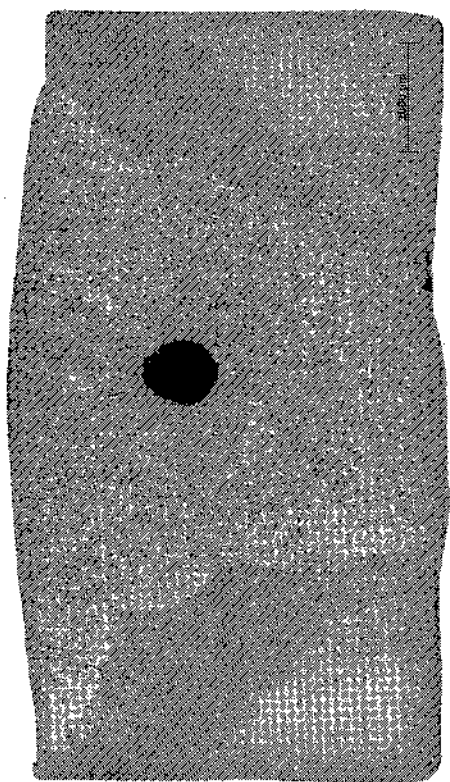


图 A.5 气孔 (一)

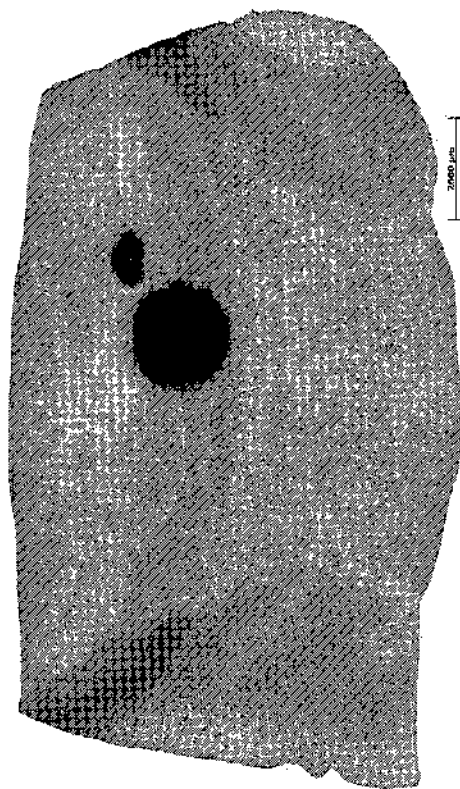


图 A.6 气孔 (二)

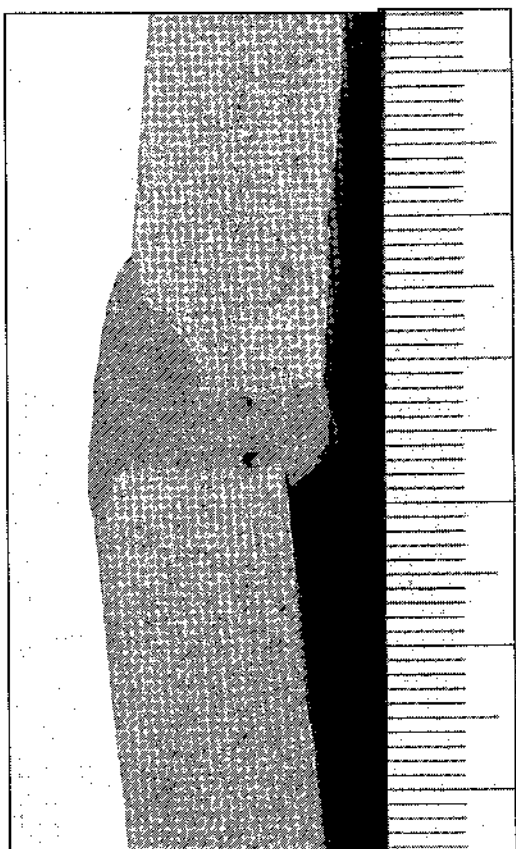


图 A.7 气孔 (三)

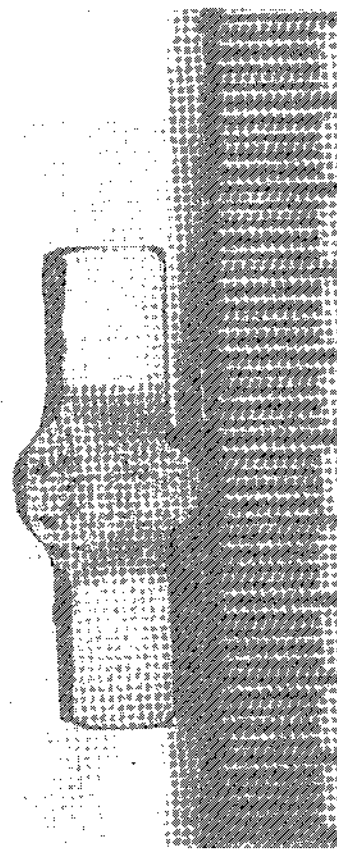


图 A.8 密集气孔

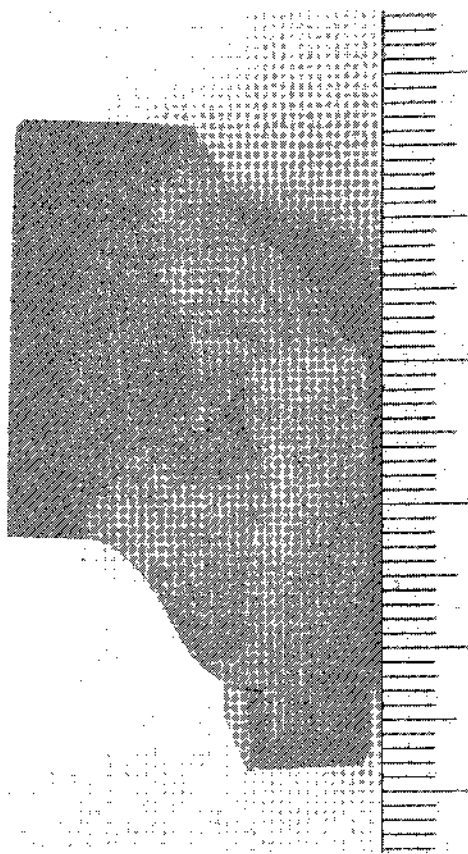


图 A.9 坡口未熔合、气孔、过热区裂纹

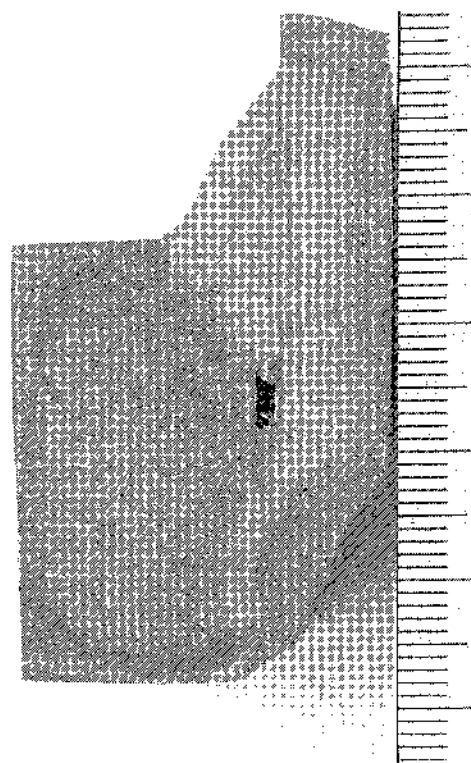


图 A.10 焊缝根部未焊透、气孔、坡口未熔合

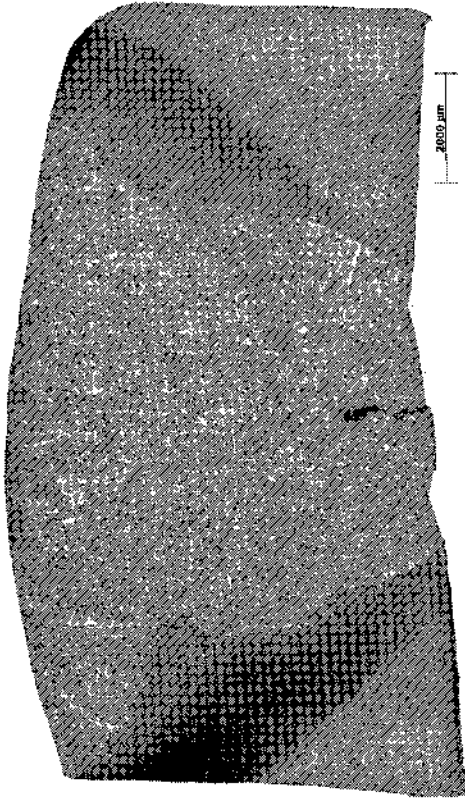


图 A.11 根部裂纹 (一)

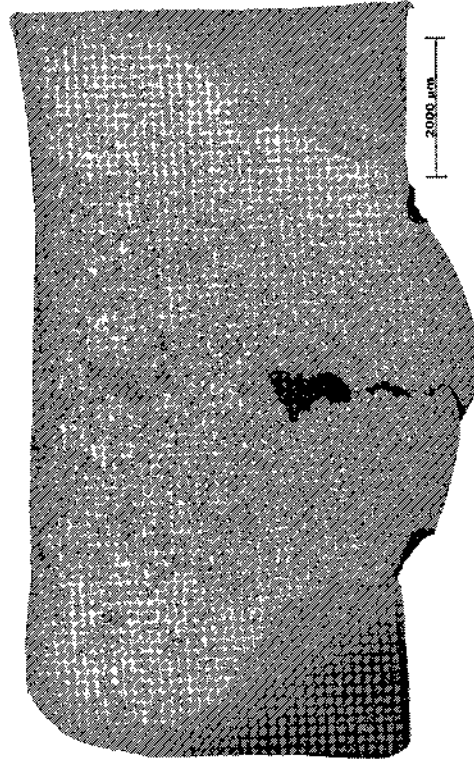


图 A.12 根部裂纹 (二)

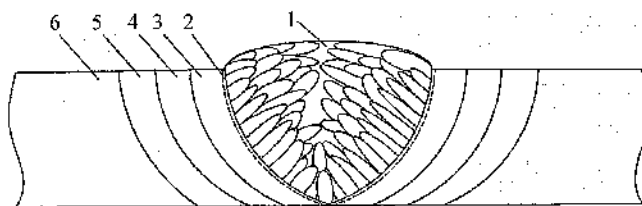
附录 B

(资料性附录)

焊接接头各区金相显微组织特征

B.1 焊接接头由焊缝、熔合区、热影响区和母材组成，如图 B.1 所示。

- a) 焊缝：焊件经焊接所形成的结合部分。
- b) 熔合区：焊接接头中，焊缝金属向热影响区过渡的区域。
- c) 热影响区：在焊接热循环作用下，焊缝两侧处于固态的母材因受热（但未熔化）影响而发生明显金相显微组织和力学性能变化的区域。根据组织特征的不同，热影响区可分为过热区、重结晶区和不完全重结晶区。



说明：

- 1——焊缝金属；
- 2——熔合区；
- 3——过热区；
- 4——重结晶区；
- 5——不完全重结晶区；
- 6——母材。

图 B.1 焊接接头组成示意图

B.2 焊接接头焊态下各区的金相显微组织特征取决于焊接热循环峰值温度、加热速度、高温停留时间和随后的冷却速度。

- a) 焊缝：该区组织具有联生结晶和长大的特点，其金相显微组织为柱状晶、树枝晶、等轴晶等；多层焊时，由于前道焊层受后道焊层再加热的的作用而发生相变重结晶，导致焊缝区各部位金相显微组织形态的差异。
- b) 过热区：该区在焊接热循环过程中严重过热，金相显微组织以晶粒粗大为特征，又称粗晶区。过热区是再热裂纹敏感区，对于低碳钢而言，也是易产生魏氏组织的区域。
- c) 重结晶区：该区的焊接热循环峰值温度大于 A_3 ，高温下原始组织全部奥氏体化并在冷却过程中发生相变重结晶，金相显微组织以晶粒细小均匀为特征，又称细晶区、正火区（不易淬火钢）或淬火区（易淬火钢）。
- d) 不完全重结晶区：该区的焊接热循环峰值温度在 $A_1 \sim A_3$ 之间，高温下部分原始组织奥氏体化并在冷却过程中发生相变重结晶，形成晶粒细小均匀的组织，而未奥氏体化的原始组织保留下来，最终形成粗细不均匀的金相显微组织，也称不完全正火区（不易淬火钢）或不完全淬火区（易淬火钢）。
- e) 母材：该区金相显微组织未发生明显变化，保留了原始金相显微组织的特征。

B.3 由于奥氏体不锈钢具有随温度变化不发生相变的特殊性，因此其热影响区不存在重结晶区和不完全重结晶区的划分。

附录 C

(资料性附录)

焊接裂纹类型及微观特征

C.1 焊接过程中由于冶金和力学因素的共同作用，焊接接头各部位在不同温度和时间条件下，可能产生各种类型的焊接裂纹。

C.2 焊接裂纹根据其产生的温度或时间条件，可分为热裂纹、冷裂纹和再热裂纹。

- a) 热裂纹：在焊接过程中，焊缝和热影响区金属冷却到固相线附近的高温区产生的焊接裂纹，其产生与高温下晶界行为所导致的晶界弱化有关。常见的焊接热裂纹有结晶裂纹、液化裂纹、高温低塑性裂纹等。
- b) 冷裂纹：焊接接头冷却到 M_s 温度以下时产生的焊接裂纹，其产生与应力状态、材料塑性以及氢的活动等因素有关。常见的焊接冷裂纹有延迟裂纹、淬硬脆化裂纹、层状撕裂等。
- c) 再热裂纹：焊接接头在焊后再次加热（焊后热处理或在一定温度下工作）时产生的裂纹，其产生与金属的沉淀硬化效应有关。

C.3 焊接裂纹根据其形成机理，可分为结晶裂纹、液化裂纹、高温低塑性裂纹、延迟裂纹、淬硬脆化裂纹、层状撕裂、再热裂纹等。微观金相检验时，可通过微观特征，分析焊接裂纹类型及形成原因。各种类型裂纹的微观特征如下：

- a) 结晶裂纹：焊接熔池凝固结晶时，在结晶后期液相与固相并存的温度区间，由于结晶偏析和收缩应力应变的作用，焊缝或熔合区金属沿一次结晶晶界形成的裂纹，属热裂纹。常见于碳钢、低合金钢、中合金钢、奥氏体不锈钢和镍基合金的焊缝或熔合区。
- b) 液化裂纹：焊接接头熔合区和过热区金属或多层焊焊缝的层间金属，在焊接热循环峰值温度作用下处于固相线以下稍低温度时，晶间金属受热重新熔化，在一定收缩应力作用下沿奥氏体晶界形成的裂纹，又称热撕裂，属热裂纹。常见于 C、S、P 含量较高的镍铬高强钢、奥氏体不锈钢和镍基合金的熔合区、过热区或多层焊焊缝的层间金属。
- c) 高温低塑性裂纹：在液相结晶完成后冷却到一定温度范围时，由于应变速率和某些冶金因素的相互作用引起焊接接头金属塑性下降而导致的沿晶开裂，属热裂纹。一般发生在热影响区。
- d) 延迟裂纹：焊后冷却至 M_s 点以下的焊接接头，在淬硬组织、氢聚集和焊接残余应力的共同作用下，经过几秒到数月不等的延迟而产生的裂纹，具有穿晶或穿晶与沿晶混合的特征，属冷裂纹。常见于中、高碳钢和低、中合金钢的热影响区或焊缝。
- e) 淬硬脆化裂纹：焊接过程中形成的淬硬组织在焊接残余应力作用下产生的沿晶或穿晶裂纹，一般形成于 M_s 点附近，属冷裂纹。常见于含碳的 NiCrMo 钢和马氏体不锈钢的热影响区或焊缝。
- f) 层状撕裂：钢板中存在沿轧制方向呈层状分布的非金属夹杂物时，在焊接产生的垂直于轧制方向的应力作用下，沿夹杂物与基体交界产生的穿晶或沿晶“台阶”式层状开裂，一般形成于 400℃ 以下，属冷裂纹。常见于低合金高强钢厚板结构的热影响区附近。
- g) 再热裂纹：在焊后消除残余应力热处理过程中，或不经任何热处理的焊件处于一定温度下时，由于应力松弛产生的附加变形大于其蠕变塑性而产生的沿晶裂纹，一般形成于 600℃~700℃。常见于含沉淀强化元素的高强钢、珠光体钢、奥氏体不锈钢和镍基合金的过热区。

附录 D
(资料性附录)
常见焊接接头金相组织图片

D.1 20G 对接焊接接头金相组织图片，见表 D.1。

表 D.1 20G 对接焊接接头金相组织图片

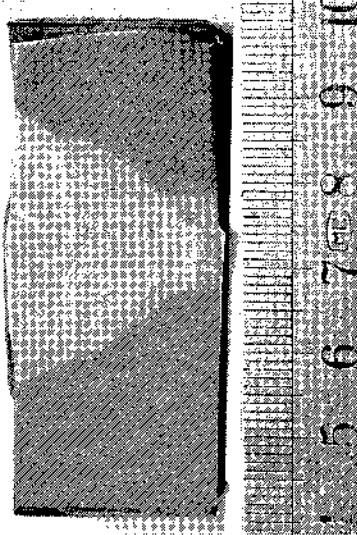
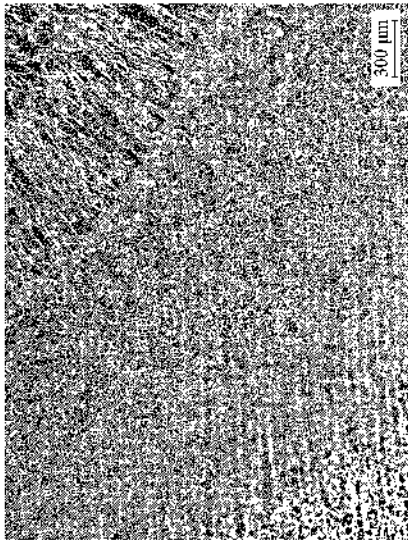




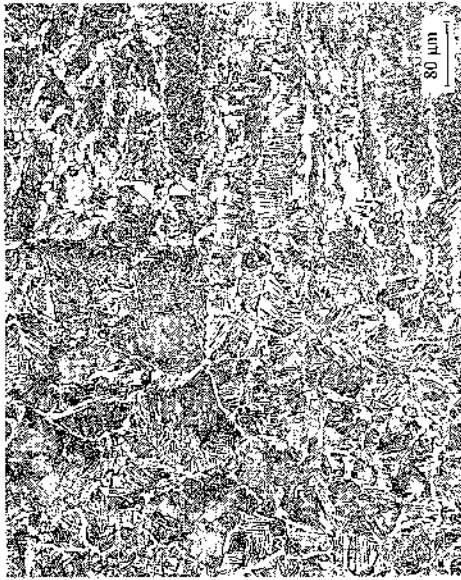

<p>牌号: 20G 规格: $\phi 245 \times 20$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 TIG-J50, 焊条 J507</p>	 <p>图 D.1.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.1.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.1.1 宏观形貌 图 D.1.2 微观形貌: 左/右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.1.3 母材: 铁素体+珠光体 图 D.1.4 不完全重结晶区: 铁素体+珠光体</p>	 <p>图 D.1.3 母材</p>	 <p>图 D.1.4 不完全重结晶区</p>

表 D.1 (续)

<p>牌号: 20G 规格: $\phi 245 \times 20$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW+SMW, 焊丝 TIG-J50, 焊条 J507</p>	 <p>图 D.1.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.1.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.1.5 重结晶区: 铁素体+珠光体+少量贝氏体 图 D.1.6 过热区: 先共析铁素体+珠光体+魏氏组织+少量贝氏体 图 D.1.7 熔合区: 左→右为过热区→焊缝 图 D.1.8 焊缝: 铁素体+粒状贝氏体+少量珠光体</p>	 <p>图 D.1.7 熔合区</p>	 <p>图 D.1.8 焊缝</p>

D.2 12Cr1MoVG 对接焊接接头金相组织图片，见表 D.2。

表 D.2 12Cr1MoVG 对接焊接接头金相组织图片

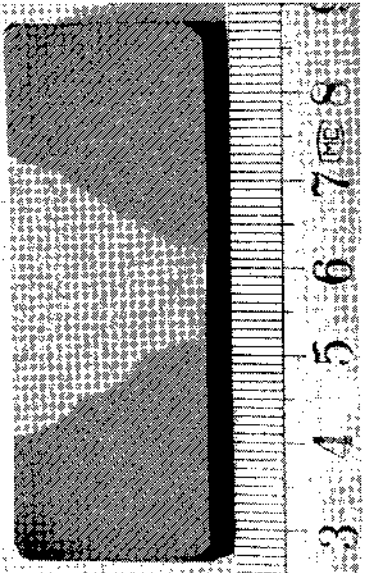
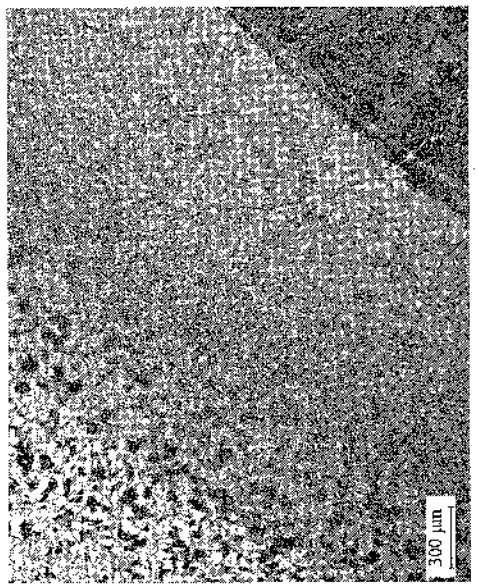
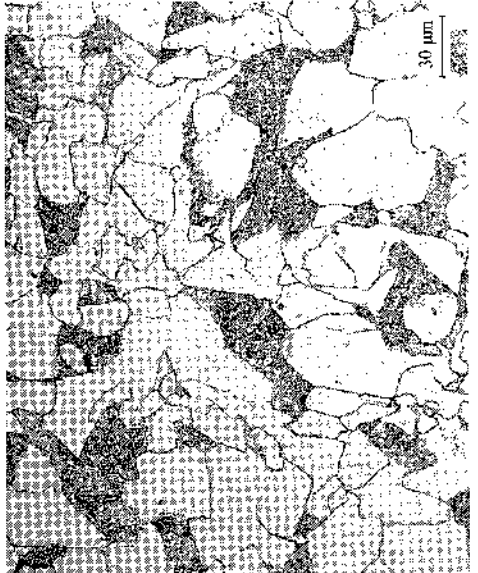
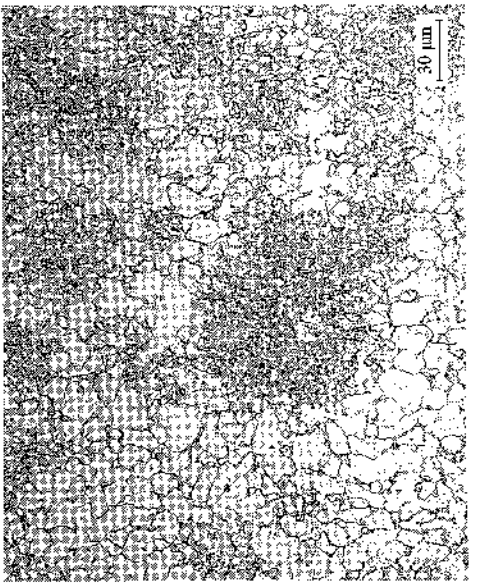

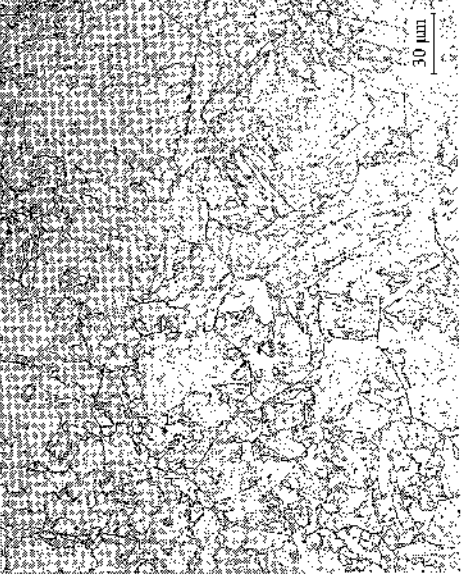
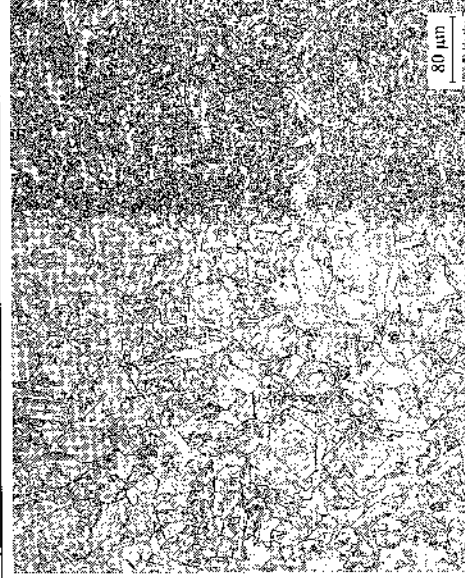
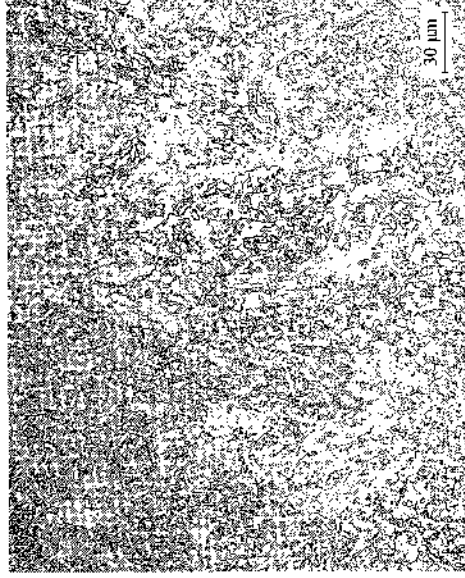
<p>牌号: 12Cr1MoVG 规格: $\phi 273 \times 20$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 180 °C ± 10 °C 预热, 焊后 720 °C \sim 728 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMW, 焊丝 TIG-R31, 焊条 R317</p>	 <p>图 D.2.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.2.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.2.1 宏观形貌 图 D.2.2 微观形貌: 左、右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.2.3 母材: 铁素体+珠光体+回火贝氏体 图 D.2.4 不完全重结晶区: 铁素体+回火贝氏体</p>	 <p>图 D.2.3 母材</p>	 <p>图 D.2.4 不完全重结晶区</p>

表 D.2 (续)

<p>牌号: 12Cr1MoVG 规格: $\phi 273 \times 20$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 180 °C \pm 10 °C 预热, 焊后 720 °C \sim 728 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+ SMAW, 焊丝 TIG-R31, 焊条 R317</p>	 <p>图 D.2.5 熔合区</p>	 <p>图 D.2.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.2.5 重结晶区: 铁素体+回火贝氏体 图 D.2.6 过热区: 回火贝氏体+少量铁素体 图 D.2.7 熔合区: 左\rightarrow右为过热区\rightarrow焊缝 图 D.2.8 焊缝: 回火贝氏体+少量铁素体</p>	 <p>图 D.2.7 熔合区</p>	 <p>图 D.2.8 焊缝</p>

17 D.3 P22 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.3。

表 D.3 P22 对接焊接接头金相组织图片

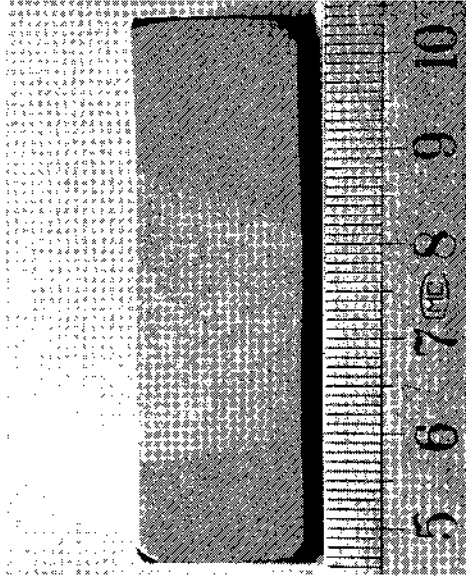
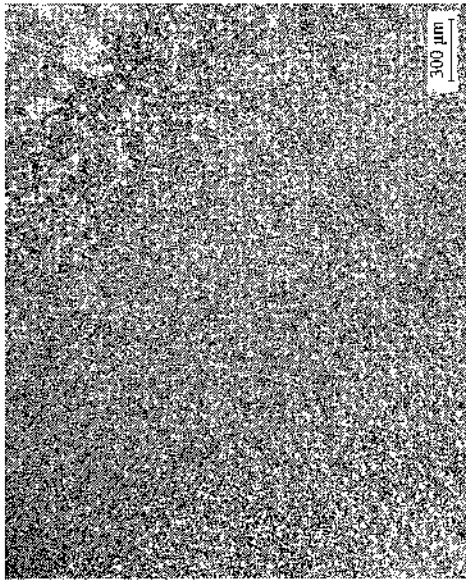
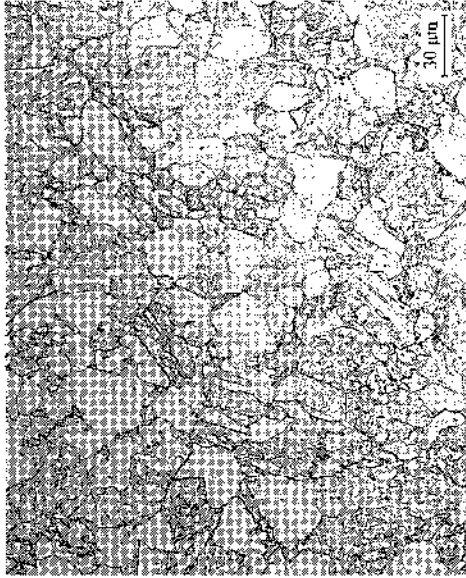
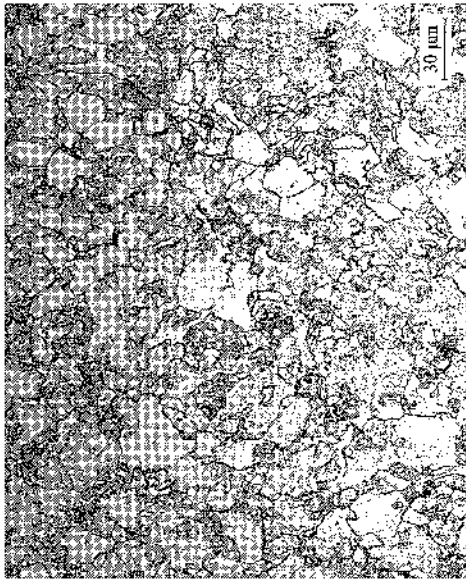
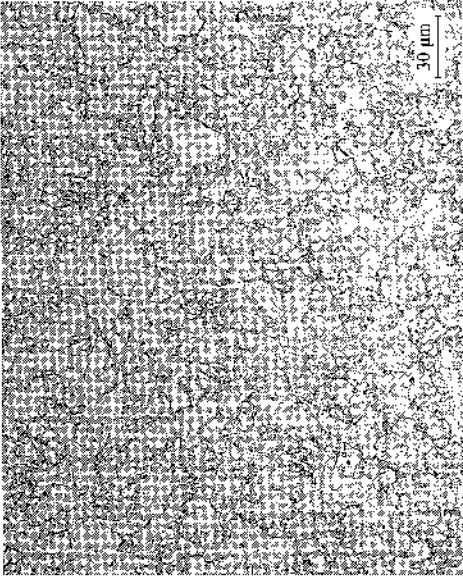


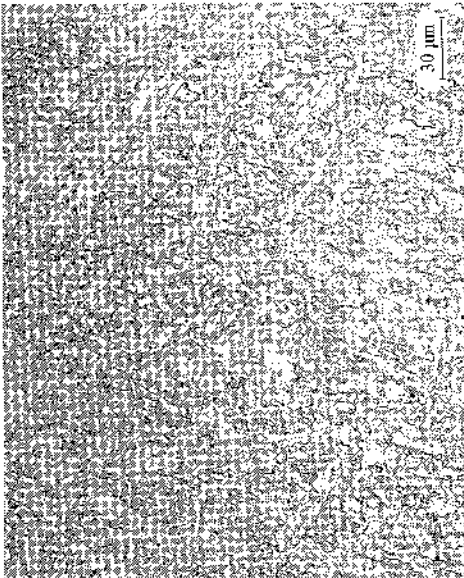
<p>牌号: P22 规格: $\phi 298 \times 16$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 $150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 预热, 焊后 $720 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMW, 焊丝 TIG-R40, 焊条 R407</p>	 <p>图 D.3.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.3.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.3.1 宏观形貌 图 D.3.2 微观形貌: 左/右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.3.3 母材: 铁素体+回火贝氏体 图 D.3.4 不完全重结晶区: 铁素体+回火贝氏体</p>	 <p>图 D.3.3 母材</p>	 <p>图 D.3.4 不完全重结晶区</p>

表 D.3 (续)

<p>牌号: P22 规格: $\phi 298 \times 16$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 $150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 预热, 焊后 $720 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 TIG-R40, 焊条 R407</p>	 <p>图 D.3.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.3.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.3.5 重结晶区: 铁素体+回火贝氏体 图 D.3.6 过热区: 回火贝氏体 图 D.3.7 熔合区: 左/右为过热区/焊缝 图 D.3.8 焊缝: 回火贝氏体+少量铁素体</p>	 <p>图 D.3.7 熔合区</p>	 <p>图 D.3.8 焊缝</p>

D.4 15NiCuMoNb5-6-4 (WB36) 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.4。

表 D.4 15NiCuMoNb5-6-4 (WB36) 对接焊接接头金相组织图片

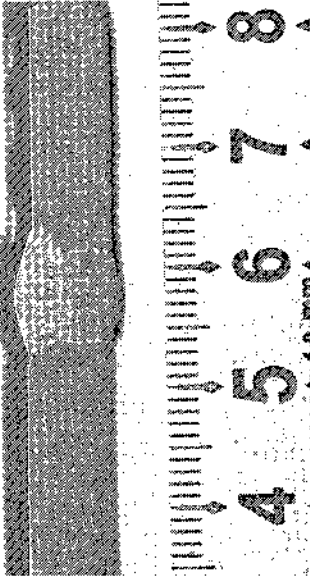
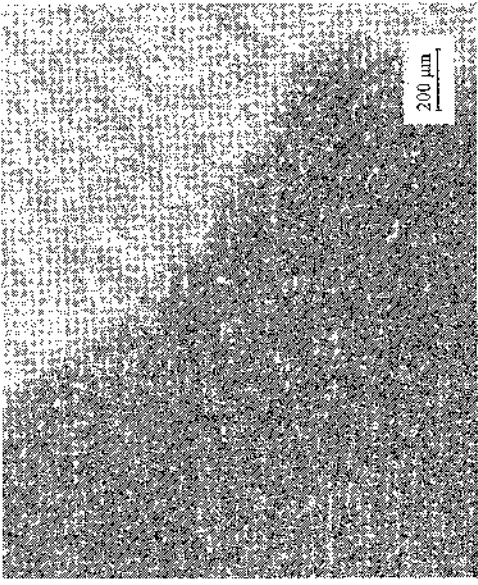
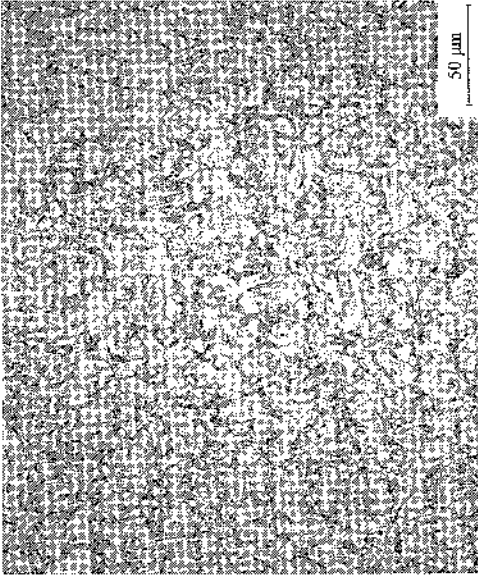
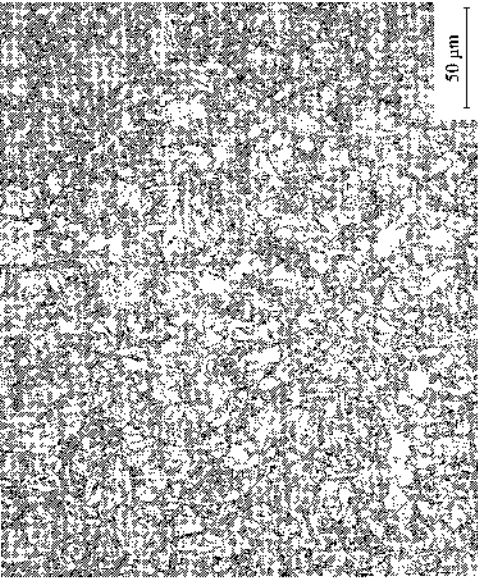
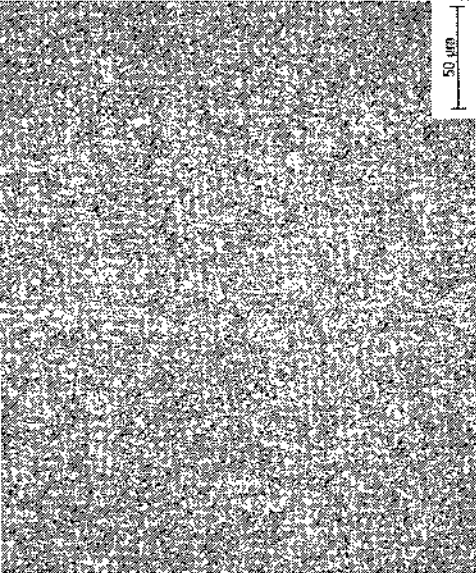
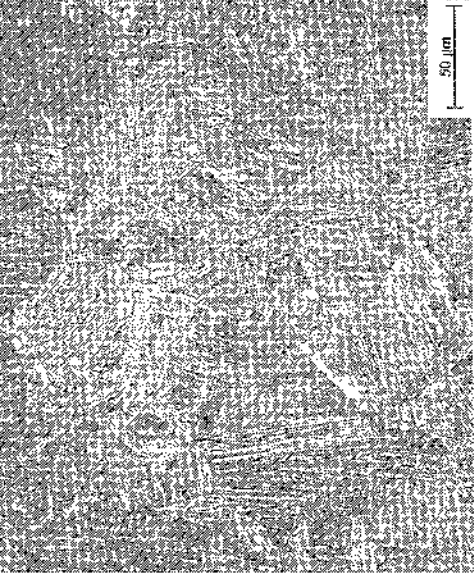
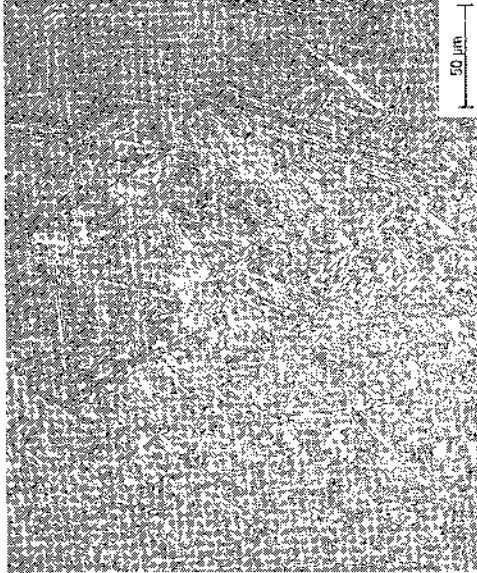
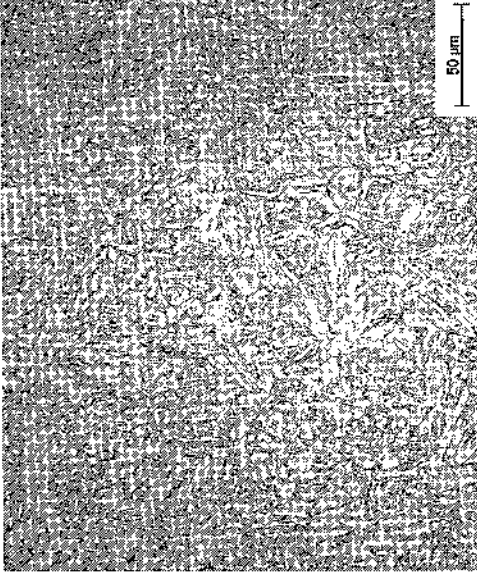
<p>牌号: 15NiCuMoNb5-6-4 (WB36) 规格: $\phi 42.7 \times 5.6$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GIAW, 焊丝 ER80S-G</p>	 <p>图 D.4.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.4.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.4.1 宏观形貌 图 D.4.2 微观形貌: 左↗右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.4.3 母材: 铁素体+回火贝氏体 图 D.4.4 不完全重结晶区: 铁素体+回火贝氏体+粒状贝氏体</p>	 <p>图 D.4.3 母材</p>	 <p>图 D.4.4 不完全重结晶区</p>

表 D.4 (续)

<p>牌号: 15NiCuMoNb5-6-4 (WB36) 规格: $\phi 42.7 \times 5.6$ mm 侵蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ER80S-G</p>	 <p>图 D.4.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.4.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.4.5 重结晶区: 粒状贝氏体 图 D.4.6 过热区: 粒状贝氏体 图 D.4.7 熔合区: 左为焊缝, 右为过热区 图 D.4.8 焊缝: 粒状贝氏体+少量铁素体</p>	 <p>图 D.4.7 熔合区</p>	 <p>图 D.4.8 焊缝</p>

D.5 T23 对接焊接接头金相组织图片，见表 D.5。

表 D.5 T23 对接焊接接头金相组织图片

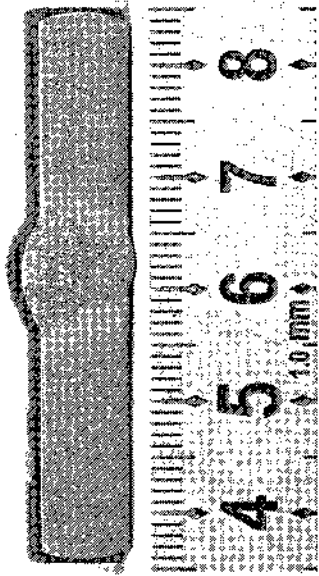
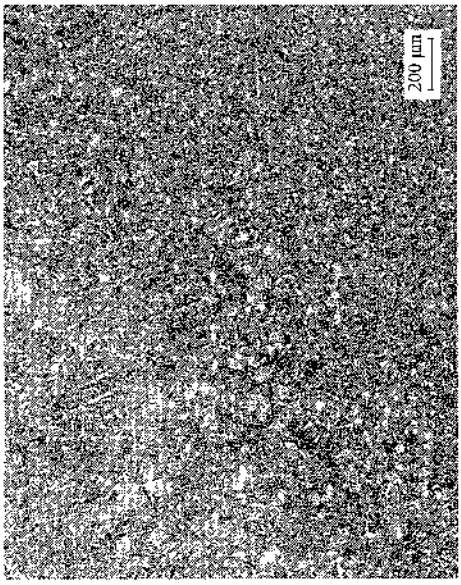
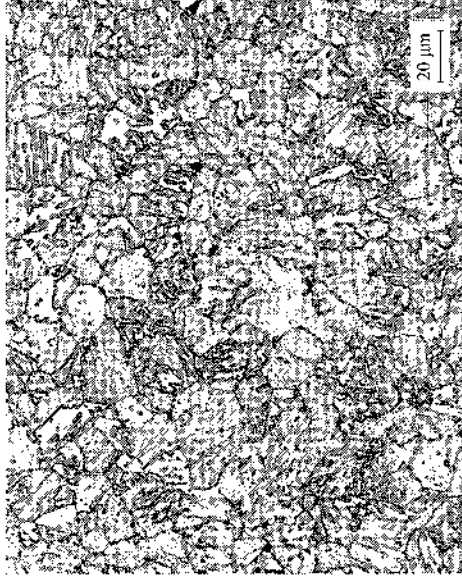
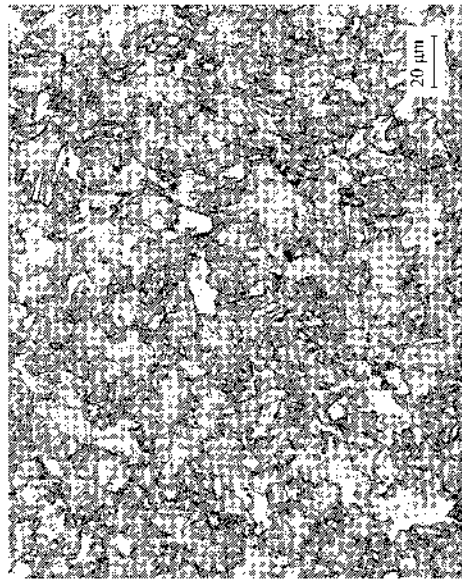
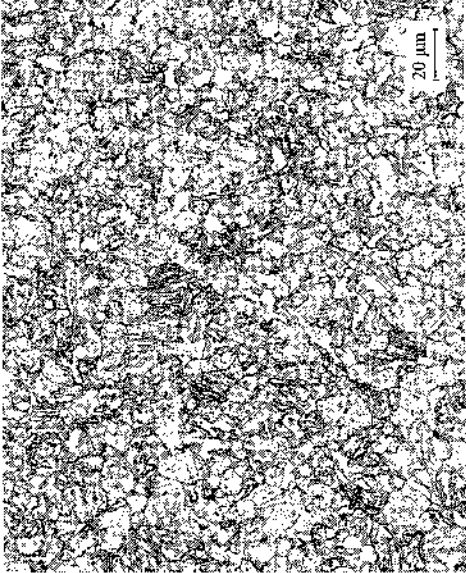



<p>牌号: T23 规格: $\phi 38.1 \times 6.5$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 150 °C 预热, 焊后 740 °C 保温 30 min 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ER90S-6</p>	 <p>图 D.5.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.5.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.5.1 宏观形貌 图 D.5.2 微观形貌: 左→右依次为焊缝、熔合区、热影响区、母材 图 D.5.3 母材: 回火贝氏体 图 D.5.4 不完全重结晶区: 回火贝氏体</p>	 <p>图 D.5.3 母材</p>	 <p>图 D.5.4 不完全重结晶区</p>

表 D.5 (续)

<p>牌号: T23 规格: $\phi 38.1 \times 6.5$ mm 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液 热处理: 焊前 150 °C 预热, 焊后 740 °C 保温 30 min 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ER90S-6</p>	 <p>图 D.5.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.5.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.5.5 重结晶区: 回火贝氏体 图 D.5.6 过热区: 回火贝氏体 图 D.5.7 熔合区: 左为焊缝、过热区 图 D.5.8 焊缝: 回火贝氏体</p>	 <p>图 D.5.7 熔合区</p>	 <p>图 D.5.8 焊缝</p>

D.6 P91 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.6。

表 D.6 P91 对接焊接接头金相组织图片

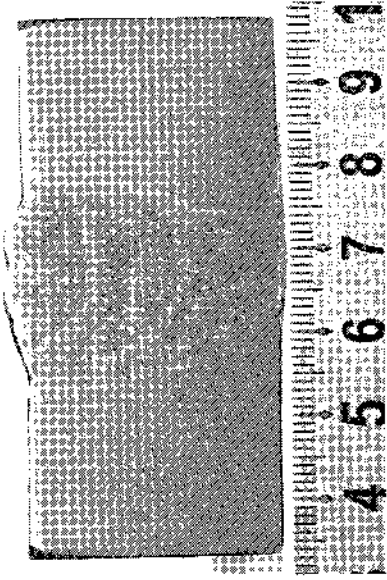
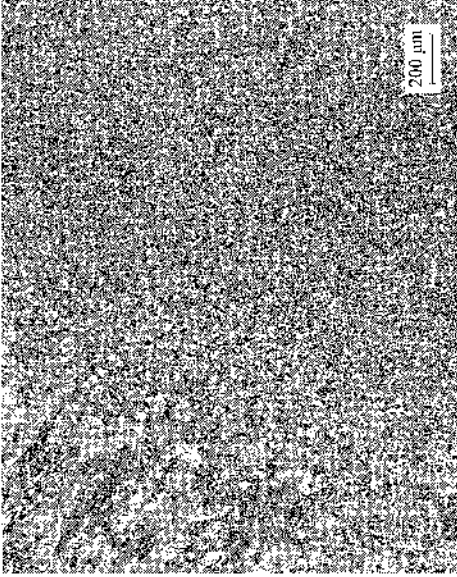
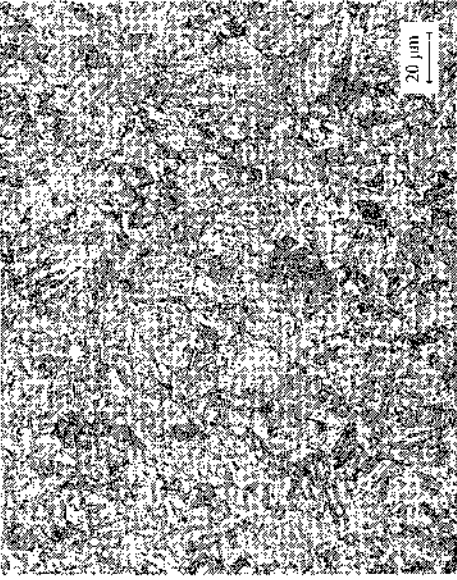
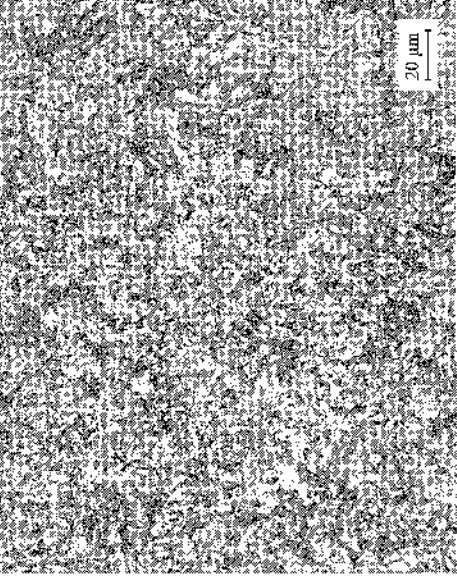
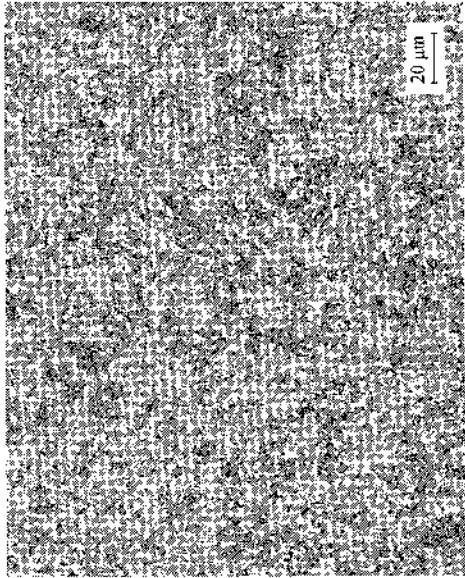

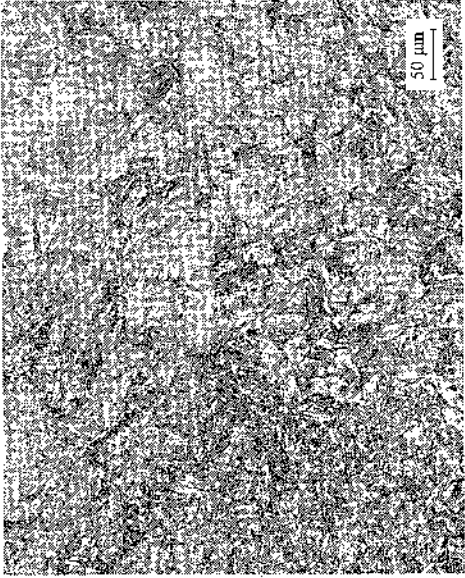

<p>牌号: P91 规格: $\phi 273 \times 25.4$ mm 浸蚀剂: 三氯化铁盐酸水溶液 热处理: GTAW 焊前 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 预热, SMAW 焊前 $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 预热, 焊后 $760^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 保温 4 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 9CrMoV-N, 焊条 9MV-N</p>	 <p>图 D.6.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.6.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.6.1 宏观形貌 图 D.6.2 微观形貌: 左→右依次为焊缝、熔合区、热影响区、母材 图 D.6.3 母材: 回火马氏体 图 D.6.4 不完全重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.6.3 母材</p>	 <p>图 D.6.4 不完全重结晶区</p>

表 D.6 (续)

<p>牌号: P91 规格: $\phi 273 \times 25.4$ mm 浸蚀剂: 三氯化铁盐酸水溶液 热处理: GTAW 焊前 150 °C ~ 200 °C 预热, SMAW 焊前 200 °C ~ 250 °C 预热, 焊后 760 °C \pm 10 °C 保温 4 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW + SMAW, 焊丝 9CrMoV-N, 焊条 9MV-N</p>	 <p>图 D.6.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.6.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.6.5 重结晶区: 回火马氏体 图 D.6.6 过热区: 回火马氏体 图 D.6.7 熔合区: 左、右为焊缝、过热区 图 D.6.8 焊缝: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.6.7 熔合区</p>	 <p>图 D.6.8 焊缝</p>

D.7 P92 对接焊接接头金相组织图片，见表 D.7。

表 D.7 P92 对接焊接接头金相组织图片

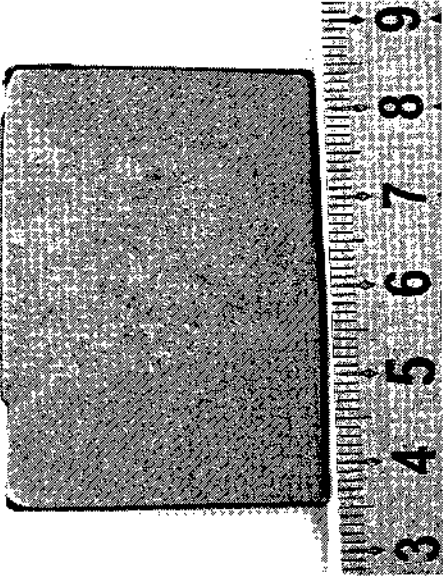
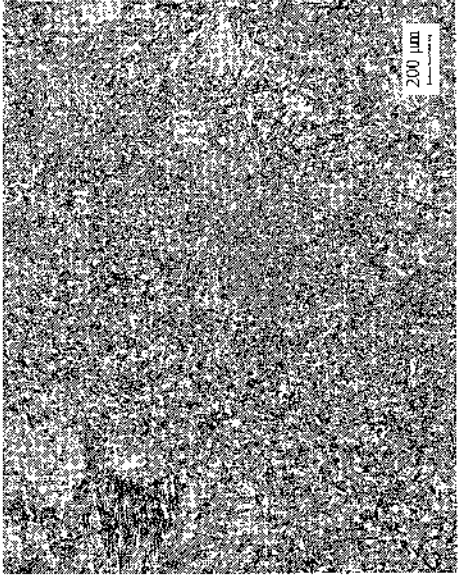

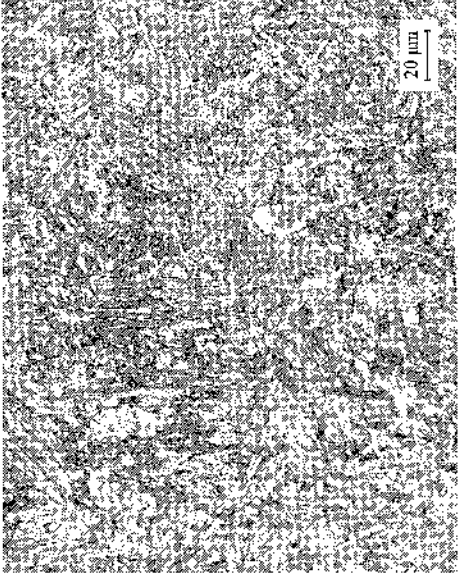



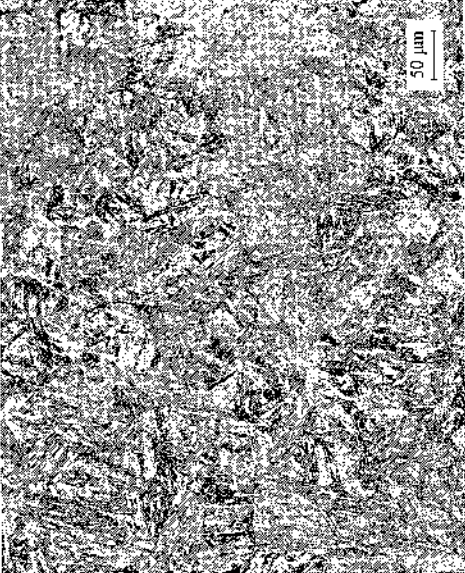
<p>牌号: P92 规格: $\phi 583 \times 32$ mm 侵蚀剂: 三氯化钛盐酸水溶液 热处理: GTAW 焊前 $150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热, SMAW 焊前 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热, 焊后 $760\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温 5 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 MST616, 焊条 MST616</p>	 <p>图 D.7.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.7.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.7.1 宏观形貌 图 D.7.2 微观形貌: 左、右依次为焊缝、熔合区、热影响区、母材 图 D.7.3 母材: 回火马氏体 图 D.7.4 不完全重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.7.3 母材</p>	 <p>图 D.7.4 不完全重结晶区</p>

表 D.7 (续)

<p>牌号: P92 规格: $\phi 583 \times 32$ mm 浸蚀剂: 三氯化铁盐酸水溶液 热处理: GTAW 焊前 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 预热, SMAW 焊前 $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 预热, 焊后 $760^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 保温 5 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 MST1616, 焊条 MST1616</p>	 <p>图 D.7.5 重结晶区</p>	 <p>图 D.7.6 过热区</p>
<p>组织说明: 图 D.7.5 重结晶区: 回火马氏体 图 D.7.6 过热区: 回火马氏体 图 D.7.7 熔合区: 左\rightarrow右为焊缝\rightarrow过热区 图 D.7.8 焊缝: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.7.7 熔合区</p>	 <p>图 D.7.8 焊缝</p>

D.8 TP347H 对接焊接接头金相组织图片，见表 D.8。

表 D.8 TP347H 对接焊接接头金相组织图片

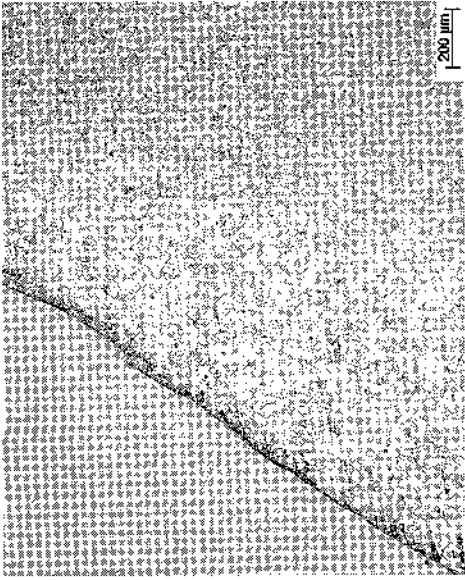
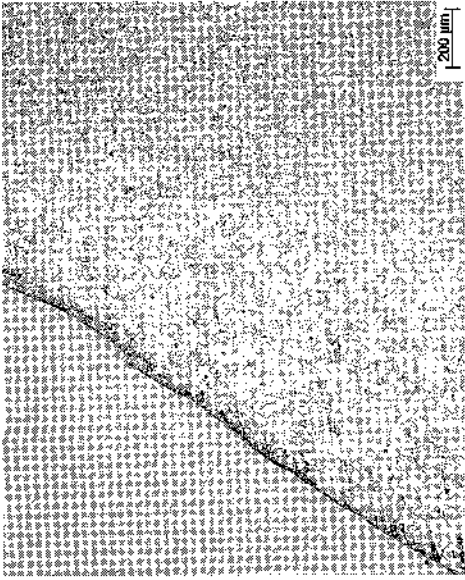
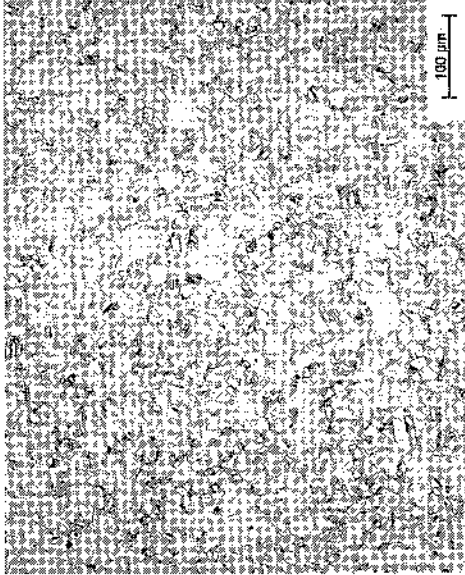
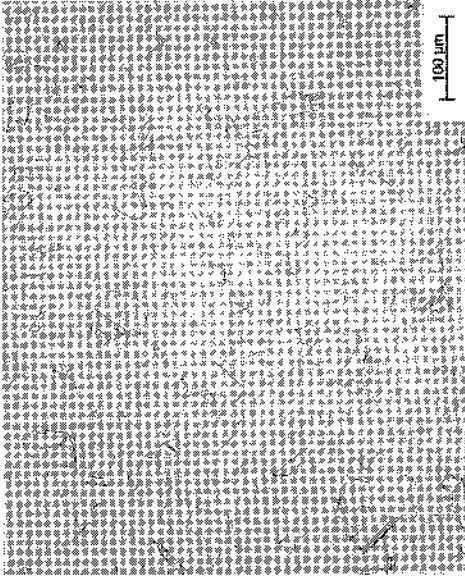
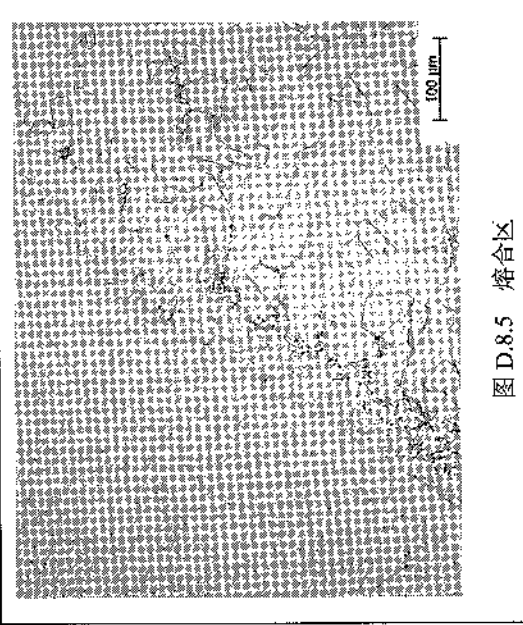
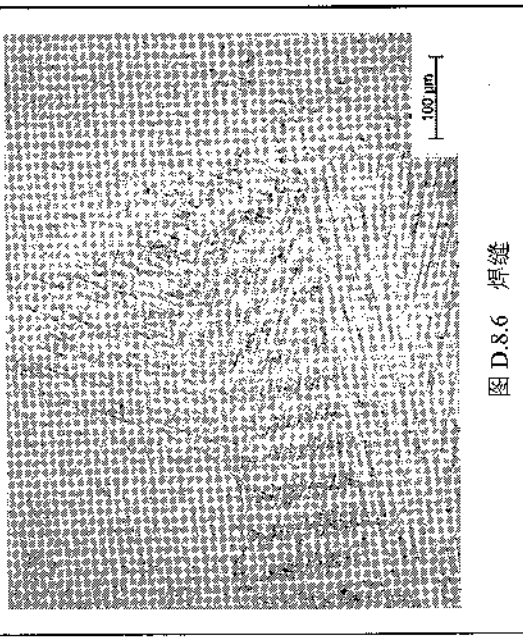
<p>牌号: TP347H 规格: $\phi 76 \times 11$ mm 浸蚀剂: 王水 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 ERNiCr-3, 焊条 ENiCrFe-3</p>	 <p>图 D.8.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.8.2 微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.8.1 宏观形貌 图 D.8.2 微观形貌: 左、右依次为焊缝、熔合区、热影响区、母材 图 D.8.3 母材: 孪晶奥氏体 图 D.8.4 热影响区: 孪晶奥氏体</p>	 <p>图 D.8.3 母材</p>	 <p>图 D.8.4 热影响区</p>

表 D.8 (续)

<p>牌号: TP347H 规格: $\phi 76 \times 11$ mm 浸蚀剂: 王水 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW+ SMAW, 焊丝 ERNiCr-3, 焊条 ENiCrFe-3</p> <p>组织说明: 图 D.8.5 熔合区: 左、右依次为焊缝、熔合区、热影响区 图 D.8.6 焊缝: 枝晶状奥氏体</p>	 <p>图 D.8.5 熔合区</p>	 <p>图 D.8.6 焊缝</p>
---	---	---

D.9 12Cr1MoVG+T92 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.9。

表 D.9 12Cr1MoVG+T92 对接焊接接头金相组织图片

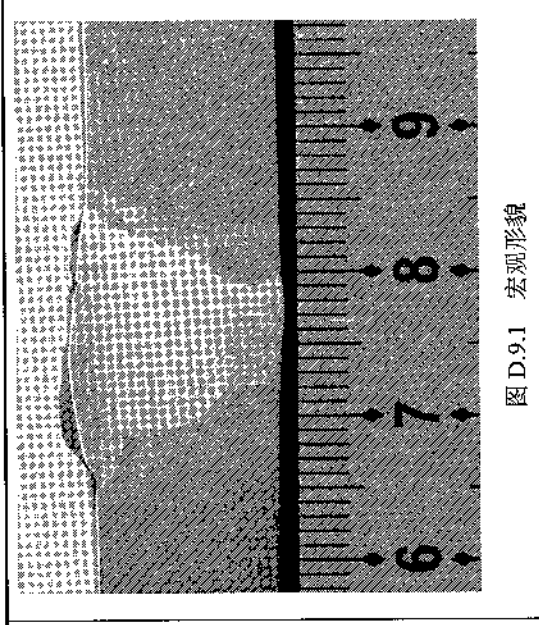
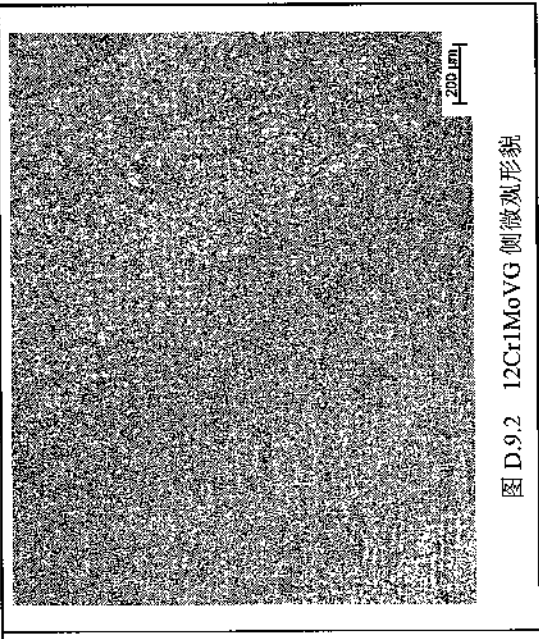
<p>牌号: 12Cr1MoVG+T92 规格: $\phi 76 \times 10$ mm 浸蚀剂: 12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液, T92 侧和焊缝为苦味酸盐酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+ SMAW, 焊丝 R31, 焊条 R317</p>	 <p>图 D.9.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.9.2 12Cr1MoVG 侧微观形貌</p>
---	---	---

表 D.9 (续)


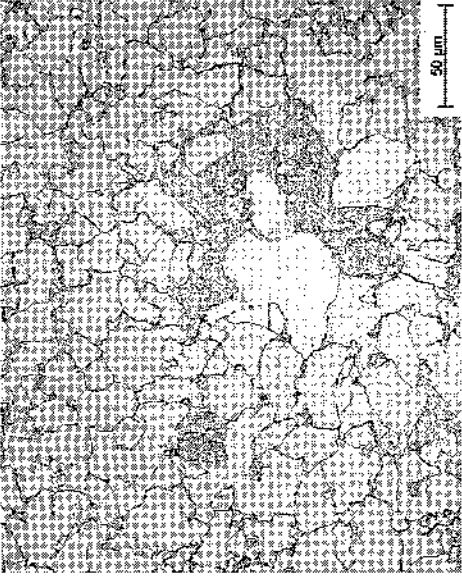
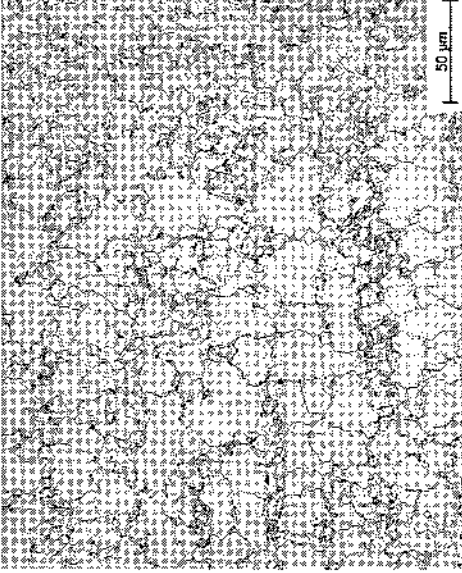
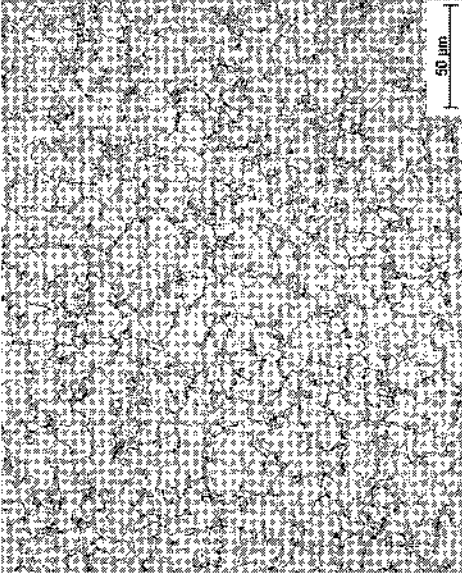
<p>组织说明:</p> <p>图 D.9.1 宏观形貌</p> <p>图 D.9.2 12Cr1MoVG 侧微观形貌: 左↗右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝</p> <p>图 D.9.3 T92 侧微观形貌: 左↘右依次为焊缝、熔合区、热影响区、母材</p> <p>图 D.9.4 12Cr1MoVG 母材: 铁素体+回火贝氏体</p>	 <p>图 D.9.3 T92 侧微观形貌</p>	 <p>图 D.9.4 12Cr1MoVG 母材</p>
<p>牌号: 12Cr1MoVG+T92</p> <p>规格: $\phi 76 \times 10$ mm</p> <p>浸蚀剂: 12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液; T92 侧和焊缝为苦味酸盐酸酒精溶液</p> <p>热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理</p> <p>焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 R31, 焊条 R317</p>	 <p>图 D.9.5 12Cr1MoVG 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.9.6 12Cr1MoVG 侧重结晶区</p>

表 D.9 (续)

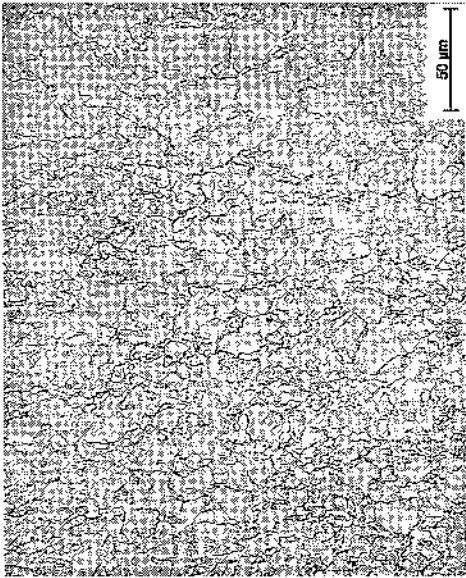
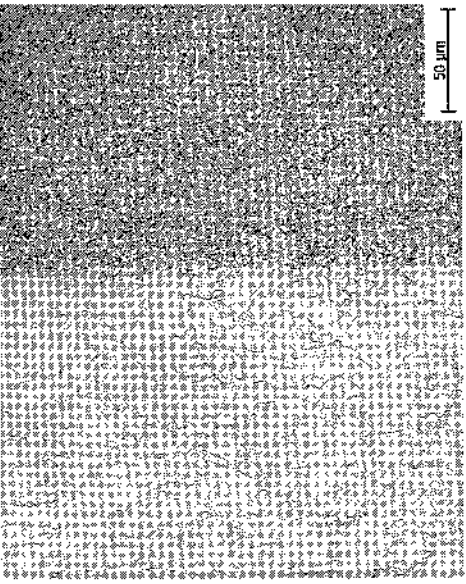
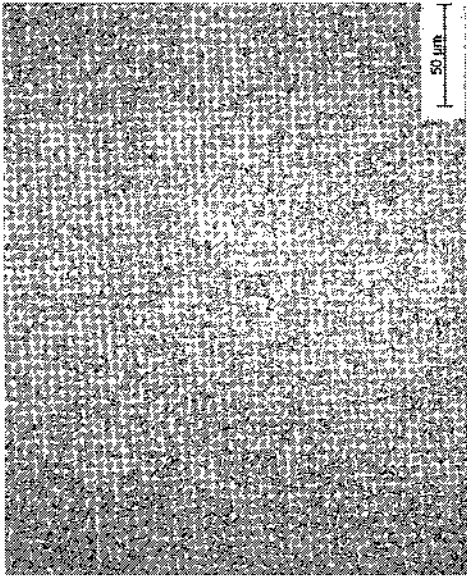
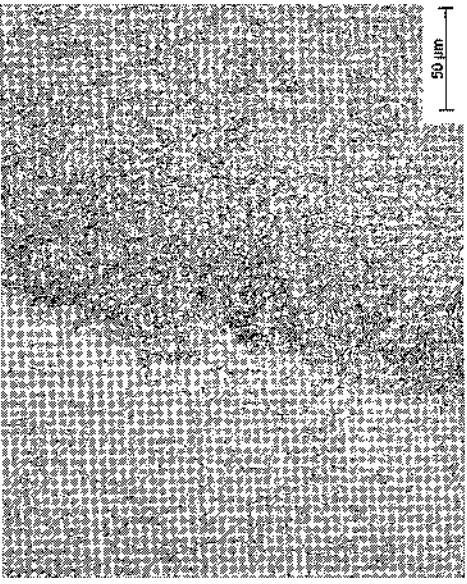
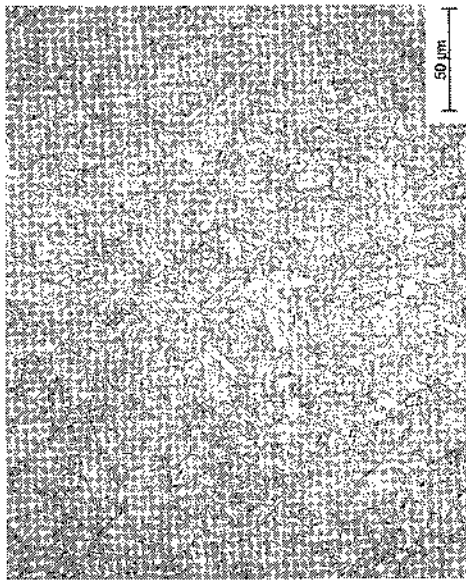
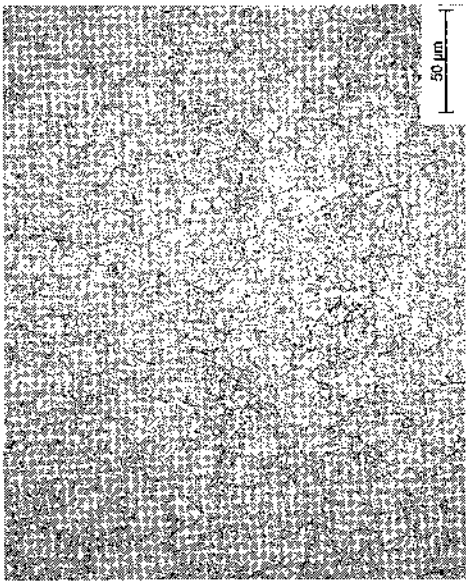
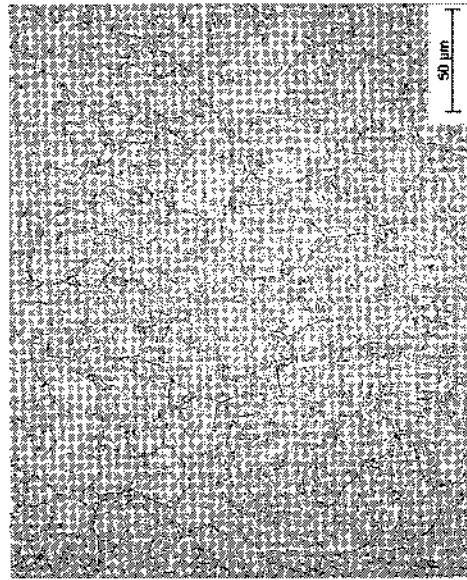
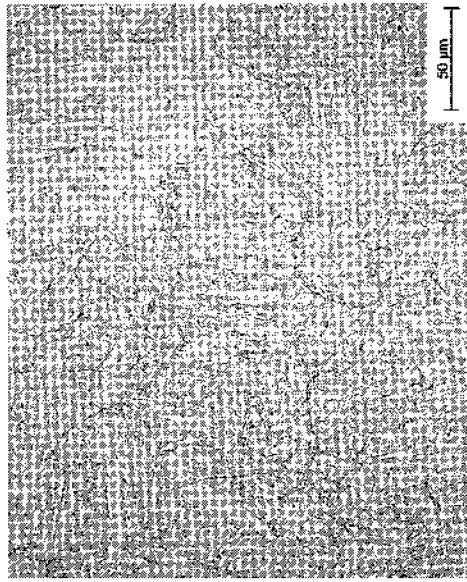
<p>组织说明： 图 D.9.5 12Cr1MoVG 侧不完全重结晶区：铁素体+回火贝氏体 图 D.9.6 12Cr1MoVG 侧重结晶区：铁素体+回火贝氏体 图 D.9.7 12Cr1MoVG 侧过热区：回火贝氏体+铁素体 图 D.9.8 12Cr1MoVG 侧熔合区：左→右为过热区→焊缝</p>	 <p>图 D.9.7 12Cr1MoVG 侧过热区</p>	 <p>图 D.9.8 12Cr1MoVG 侧熔合区</p>
<p>牌号：12Cr1MoVG+T92 规格：φ76×10 mm 浸蚀剂：12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液；T92 侧和焊缝为苦味酸盐酸酒精溶液 热处理：焊前 250 °C 预热，焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数：GTAW+SMAW，焊丝 R31，焊条 R317</p>	 <p>图 D.9.9 焊缝</p>	 <p>图 D.9.10 T92 侧熔合区</p>

表 D.9 (续)

<p>组织说明: 图 D.9.9 焊缝: 回火贝氏体+铁素体 图 D.9.10 T92 侧熔合区: 左↘右为焊缝↘过热区 图 D.9.11 T92 侧过热区: 回火马氏体 图 D.9.12 T92 侧重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.9.11 T92 侧过热区</p>	 <p>图 D.9.12 T92 侧重结晶区</p>
<p>牌号: 12Cr1MoVG+T92 规格: $\phi 76 \times 10$ mm 浸蚀剂: 12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液; T92 侧和焊缝为苦味酸盐酸酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 R31, 焊条 R317</p> <p>组织说明: 图 D.9.13 T92 侧不完全重结晶区: 回火马氏体 图 D.9.14 T92 母材: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.9.13 T92 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.9.14 T92 母材</p>

D.10 T22+T91 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.10。

表 D.10 T22+T91 对接焊接接头金相组织图片

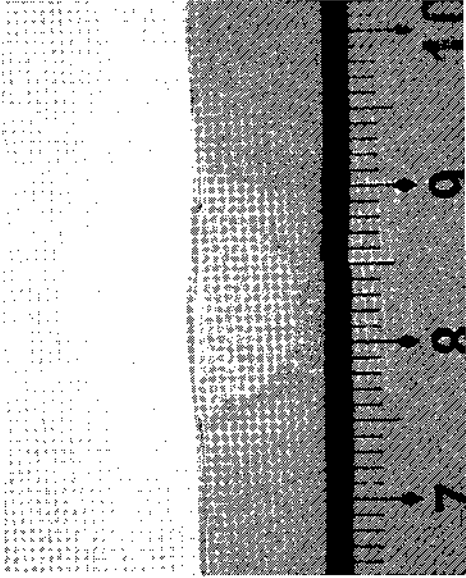
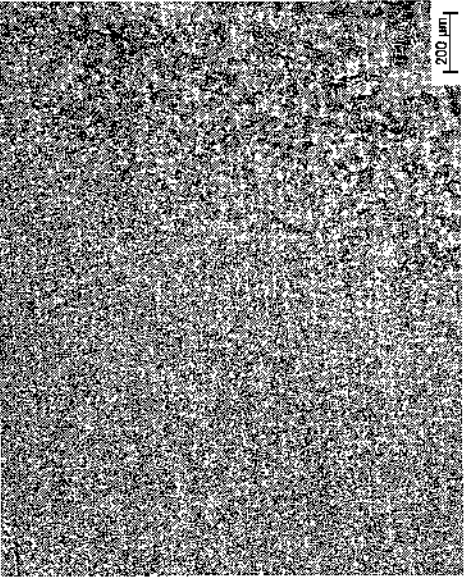
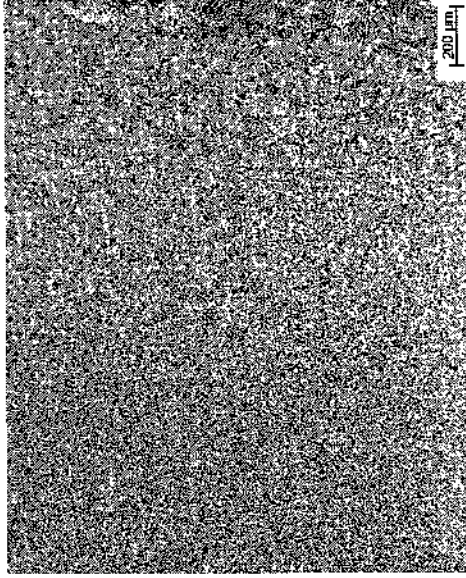
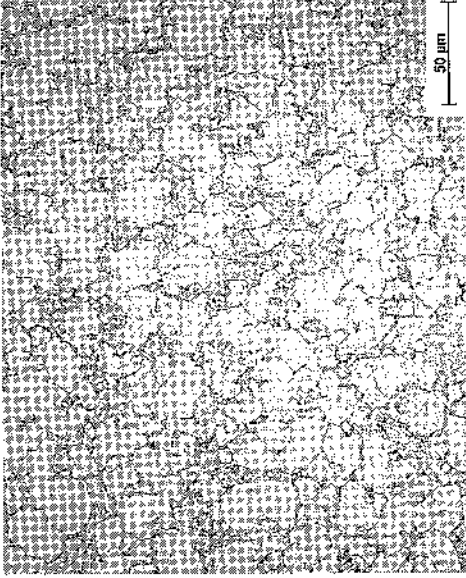
<p>牌号: T22+T91 规格: $\phi 60 \times 7$ mm 浸蚀剂: T22 侧为 4%硝酸酒精溶液; T91 侧和焊缝为苦味酸盐酸酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMW, 焊丝 R40, 焊条 R407</p>	 <p>图 D.10.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.10.2 T22 侧微观形貌</p>
<p>组织说明: 图 D.10.1 宏观形貌 图 D.10.2 T22 侧微观形貌: 左、右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.10.3 T91 侧微观形貌: 左、右依次为母材、热影响区、熔合区、焊缝 图 D.10.4 T22 母材: 铁素体+回火贝氏体</p>	 <p>图 D.10.3 T91 侧微观形貌</p>	 <p>图 D.10.4 T22 母材</p>

表 D.10 (续)

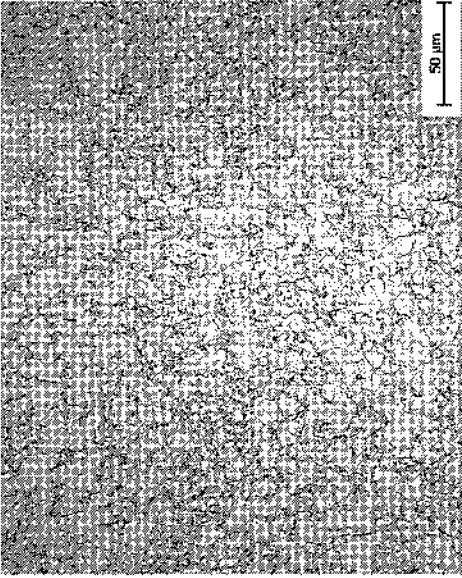
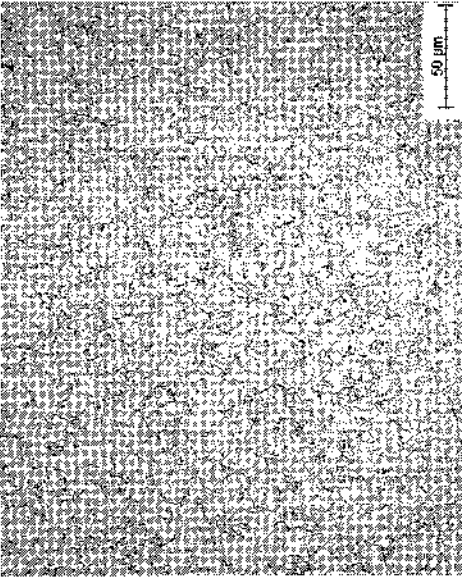
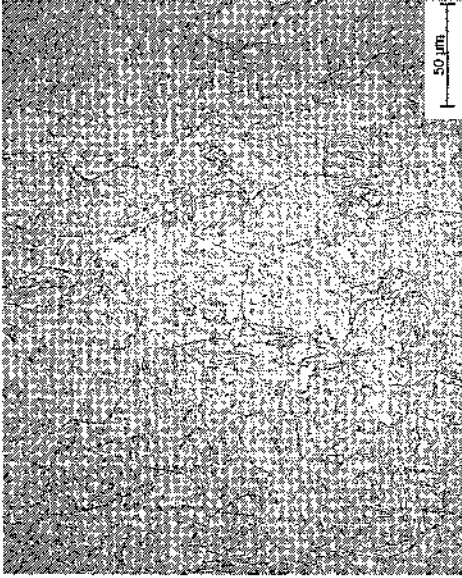

<p>牌号: T22+T91 规格: $\phi 60 \times 7$ mm 浸蚀剂: T22 侧为 4%硝酸酒精溶液; T91 侧和焊缝为苦味酸盐酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 R40, 焊条 R407</p>	 <p>图 D.10.5 T22 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.10.6 T22 侧重结晶区</p>
<p>组织说明: 图 D.10.5 T22 侧不完全重结晶区: 铁素体+回火贝氏体 图 D.10.6 T22 侧重结晶区: 铁素体+回火贝氏体 图 D.10.7 T22 侧过热区: 回火贝氏体+铁素体 图 D.10.8 T22 侧熔合区: 左\右为过热区\焊缝</p>	 <p>图 D.10.7 T22 侧过热区</p>	 <p>图 D.10.8 T22 侧熔合区</p>

表 D.10 (续)

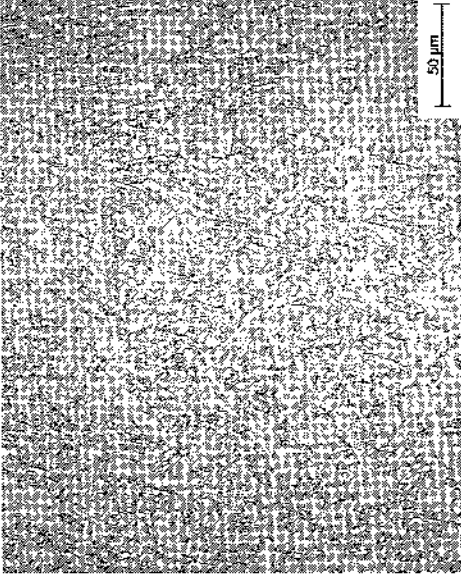

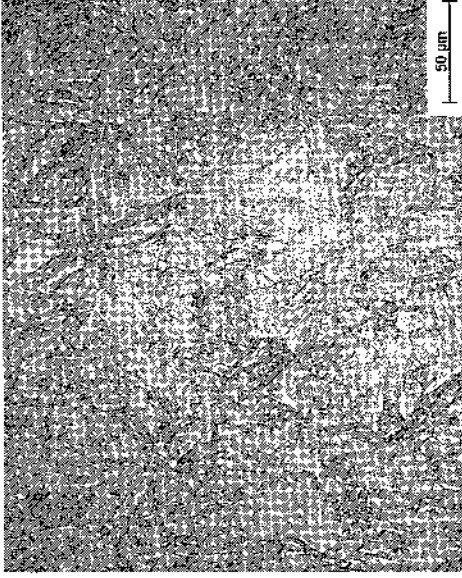
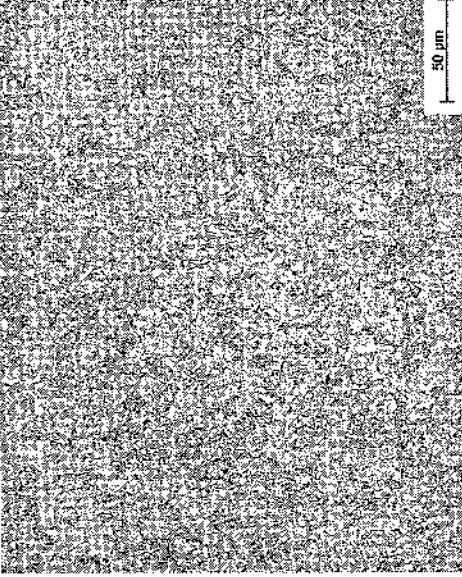
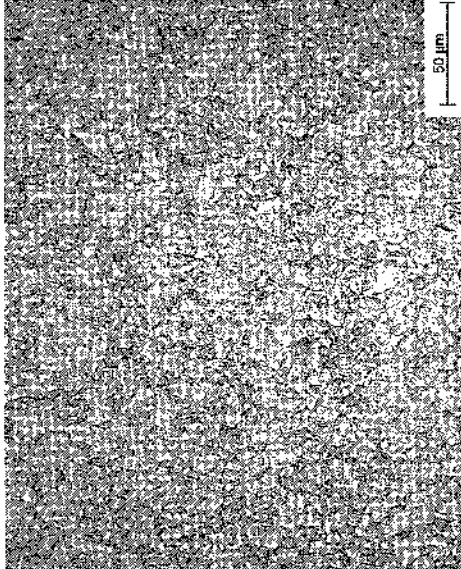
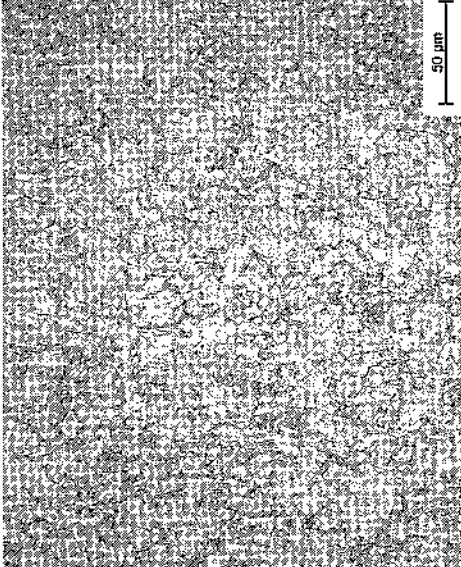
<p>牌号: T22+T91 规格: $\phi 60 \times 7$ mm 浸蚀剂: T22 侧为 4%硝酸酒精溶液; T91 侧和焊缝为苦味酸盐酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 R40, 焊条 R407</p>	 <p>图 D.10.9 焊缝</p>	 <p>图 D.10.10 T91 侧熔合区</p>
<p>组织说明: 图 D.10.9 焊缝: 回火贝氏体+铁素体 图 D.10.10 T91 侧熔合区: 左/右为过热区/焊缝 图 D.10.11 T91 侧过热区: 回火马氏体 图 D.10.12 T91 侧重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.10.11 T91 侧过热区</p>	 <p>图 D.10.12 T91 侧重结晶区</p>

表 D.10 (续)

<p>牌号: T22+T91 规格: $\phi 60 \times 7$ mm 清洗剂: T22 侧为 4%硝酸酒精溶液; T91 侧和焊缝为苦味酸盐酸酒精溶液 热处理: 焊前 250 °C 预热, 焊后 750 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW+SMAW, 焊丝 R40, 焊条 R407</p> <p>组织说明: 图 D.10.13 T91 侧不完全重结晶区; 图 D.10.14 T91 母材; 回火马氏体</p>	 <p>图 D.10.13 T91 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.10.14 T91 母材</p>
---	--	---

D.11 12Cr1MoVG+HR3C 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.11。

表 D.11 12Cr1MoVG+HR3C 对接焊接接头金相组织图片

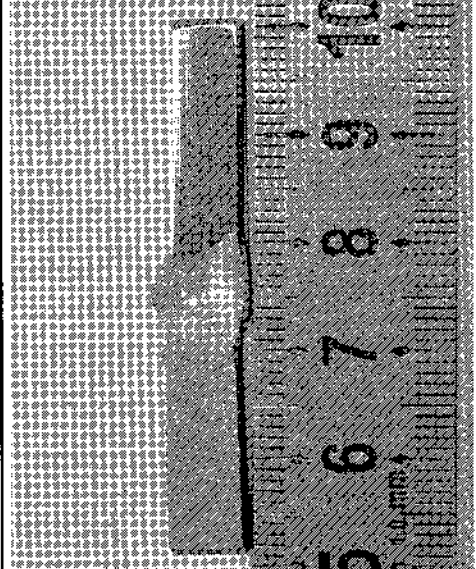

<p>牌号: 12Cr1MoVG+HR3C 规格: $\phi 57 \times 6$ mm 清洗剂: 12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液; HR3C 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前未预热, 焊后未热处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 YT-HR3C</p>	 <p>图 D.11.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.11.2 12Cr1MoVG 母材</p>
---	--	---

表 D.11 (续)

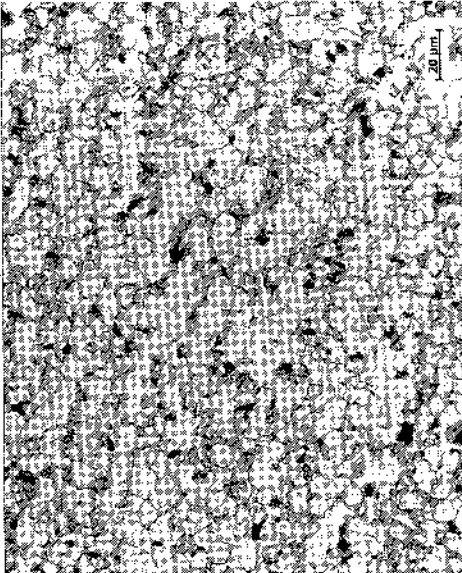
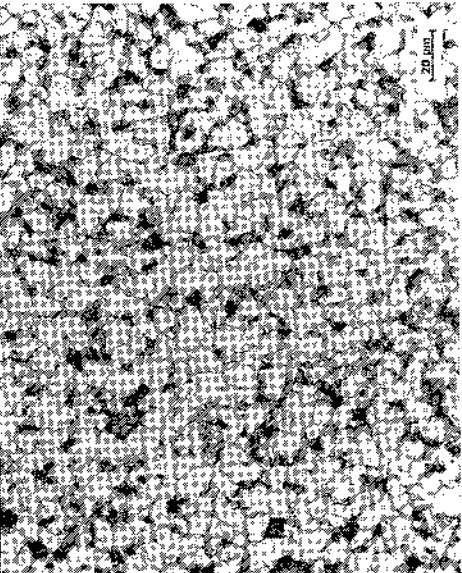


<p>组织说明： 图 D.11.1 宏观形貌 图 D.11.2 12Cr1MoVG 母材：铁素体+珠光体 图 D.11.3 12Cr1MoVG 侧不完全重结晶区：铁素体+珠光体 图 D.11.4 12Cr1MoVG 侧重结晶区：铁素体+珠光体</p>	 <p>图 D.11.3 12Cr1MoVG 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.11.4 12Cr1MoVG 侧重结晶区</p>
<p>牌号：12Cr1MoVG+HR3C 规格：φ57×6 mm 侵蚀剂：12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液；HR3C 侧和焊缝为王水 热处理：焊前未预热，焊后未热处理 焊接工艺参数：GTAW，焊丝 YT-HR3C</p>	 <p>图 D.11.5 12Cr1MoVG 侧过热区</p>	 <p>图 D.11.6 12Cr1MoVG 侧熔合区</p>

表 D.11 (续)


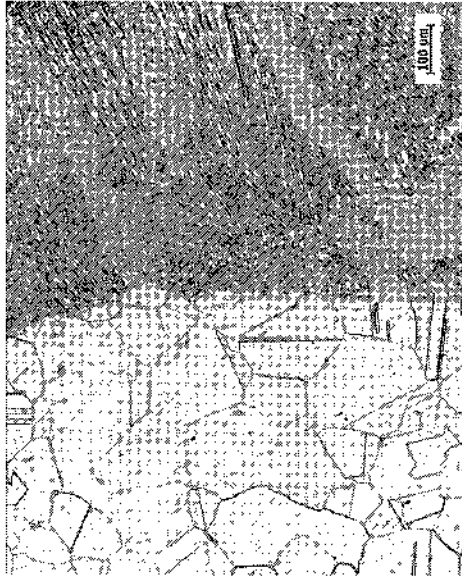
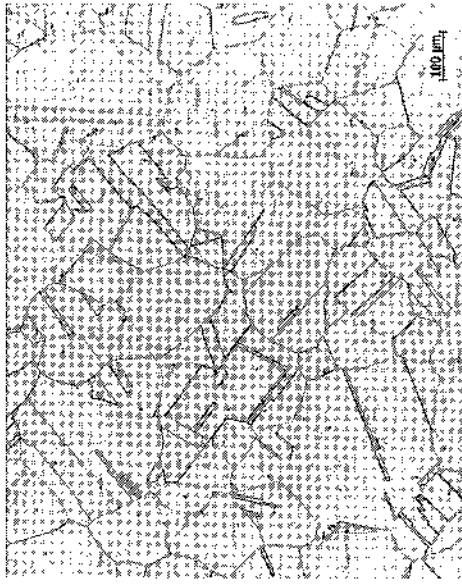
<p>组织说明： 图 D.11.5 12Cr1MoVG 侧过热区：粒状贝氏体 十少量铁素体 图 D.11.6 12Cr1MoVG 侧熔合区：左、右为焊 缝、过热区 图 D.11.7 焊缝：奥氏体十枝晶状 δ 铁素体</p>	 <p style="text-align: right;">100 μm</p>	
<p>牌号：12Cr1MoVG+HR3C 规格：φ57×6 mm 浸蚀剂：12Cr1MoVG 侧为 4%硝酸酒精溶液； HR3C 侧和焊缝为土水 热处理：焊前未预热，焊后未热处理 焊接工艺参数：GTAW，焊丝 YT-HR3C</p> <p>组织说明： 图 D.11.8 HR3C 侧熔合区：左→右为热影响区→ 焊缝 图 D.11.9 HR3C 母材：孪晶奥氏体</p>	 <p style="text-align: right;">100 μm</p>	 <p style="text-align: right;">100 μm</p>

图 D.11.7 焊缝

图 D.11.8 HR3C 侧熔合区

图 D.11.9 HR3C 母材

D.12 T91+TP347 对接焊接接头（不锈钢焊材）金相组织图片，见表 D.12。

表 D.12 T91+TP347 对接焊接接头（不锈钢焊材）金相组织图片

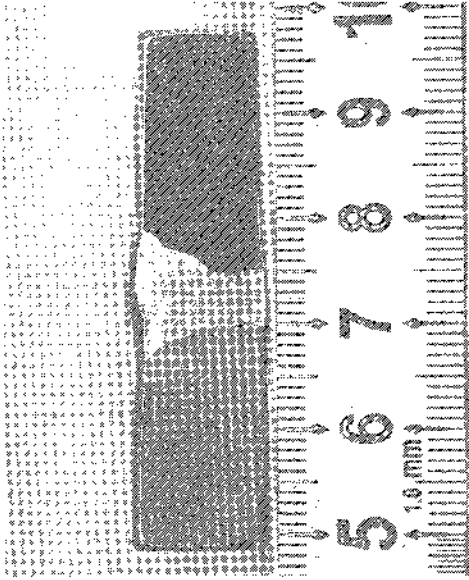
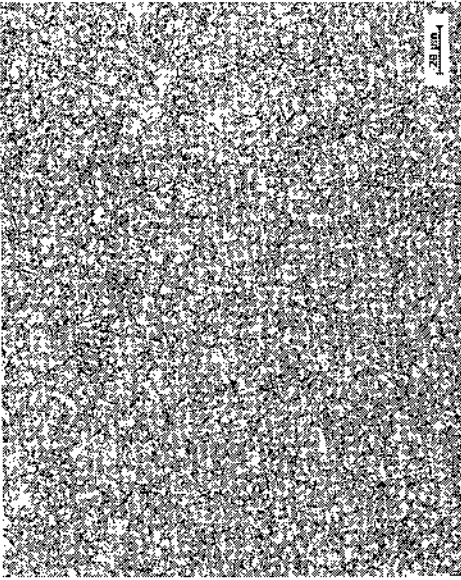
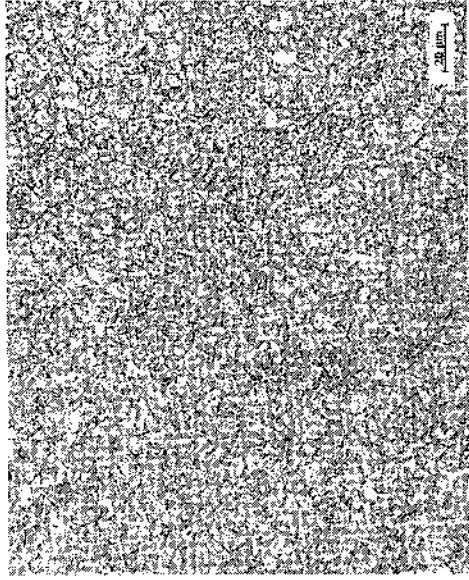
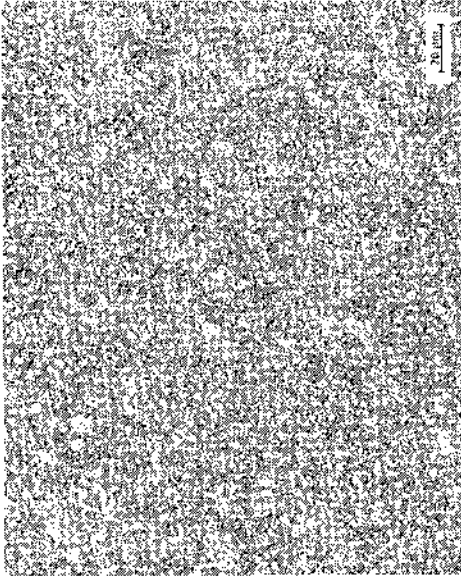
<p>牌号：T91+TP347 规格：$\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂：T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液；TP347 侧和焊缝为王水 热处理：焊前 205 °C~300 °C 预热，焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数：GTAW，焊丝 ER347</p>	 <p>图 D.12.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.12.2 T91 母材</p>
<p>组织说明： 图 D.12.1 宏观形貌 图 D.12.2 T91 母材：回火马氏体 图 D.12.3 T91 侧不完全重结晶区：回火马氏体 图 D.12.4 T91 侧重结晶区：回火马氏体</p>	 <p>图 D.12.3 T91 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.12.4 T91 侧重结晶区</p>

表 D.12 (续)

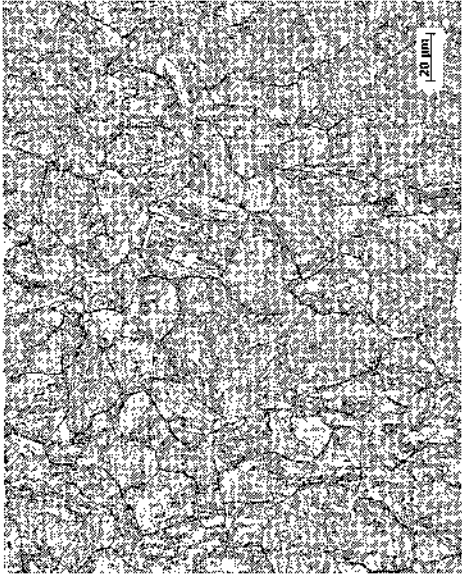


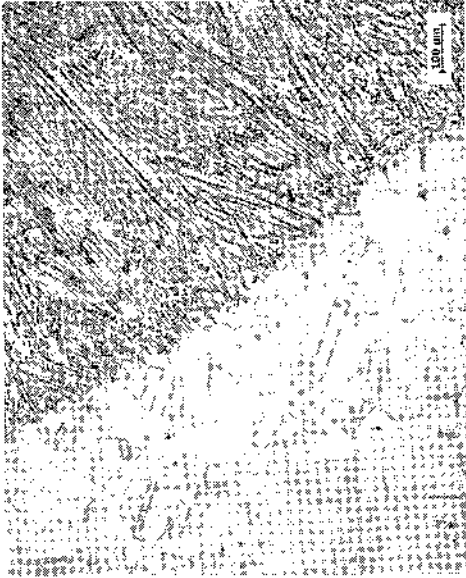
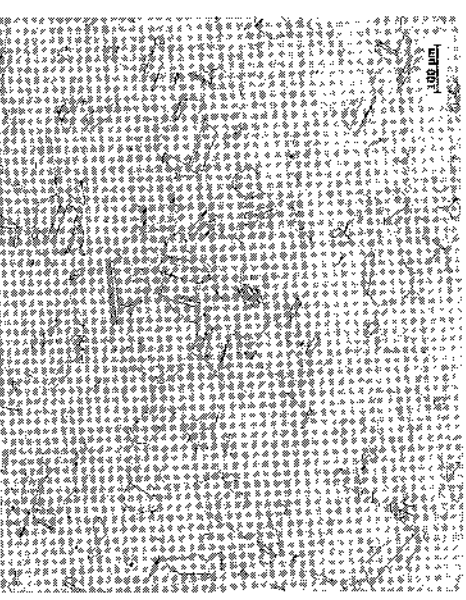
<p>牌号: T91+TP347 规格: $\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂: T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液; TP347 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 205 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ER347</p>	 <p>图 D.12.5 T91 侧过热区</p>	 <p>图 D.12.6 T91 侧熔合区</p>
<p>组织说明: 图 D.12.5 T91 侧过热区: 回火马氏体 图 D.12.6 T91 侧熔合区: 左→右为焊缝→过热区 图 D.12.7 焊缝: 奥氏体+枝晶状 δ 铁素体</p>	 <p>图 D.12.7 焊缝</p>	

表 D.12 (续)

<p>牌号: T91+TP347 规格: $\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂: T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液; TP347 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 205 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ER347</p> <p>组织说明: 图 D.12.8 TP347 侧熔合区: 左/右为热影响区/焊缝 图 D.12.9 TP347 母材: 孪晶奥氏体</p>	 <p>图 D.12.8 TP347 侧熔合区</p>	 <p>图 D.12.9 TP347 母材</p>
--	---	--

D.13 T91+TP347 对接焊接接头 (镍基焊材) 金相组织图片, 见表 D.13。

表 D.13 T91+TP347 对接焊接接头 (镍基焊材) 金相组织图片

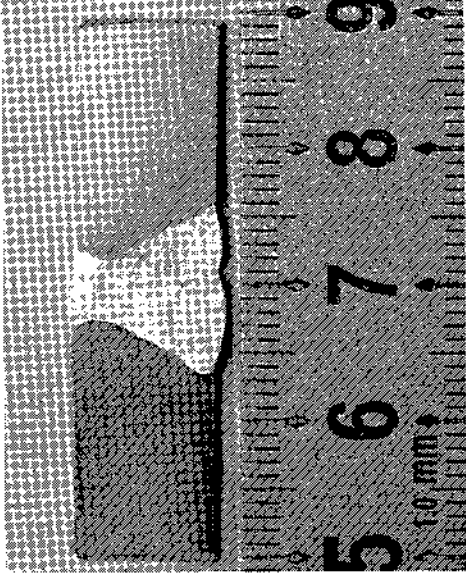
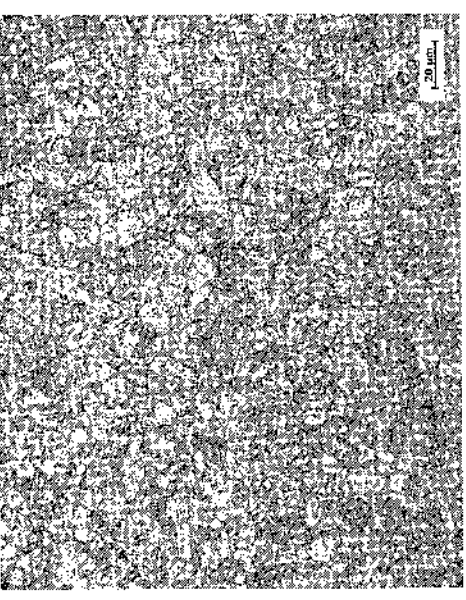
<p>牌号: T91+TP347 规格: $\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂: T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液; TP347 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 205 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCr3</p>	 <p>图 D.13.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.13.2 T91 母材</p>
---	--	---

表 D.13 (续)

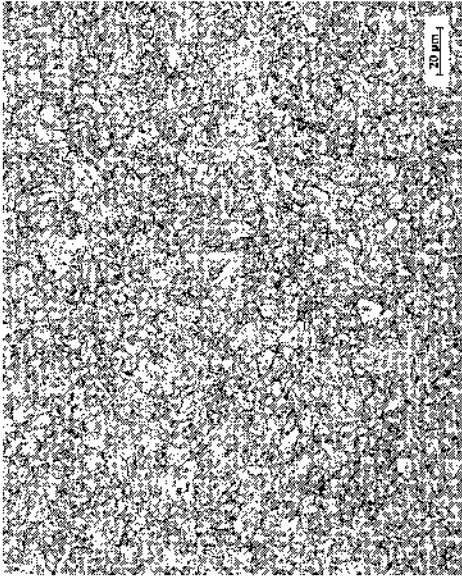
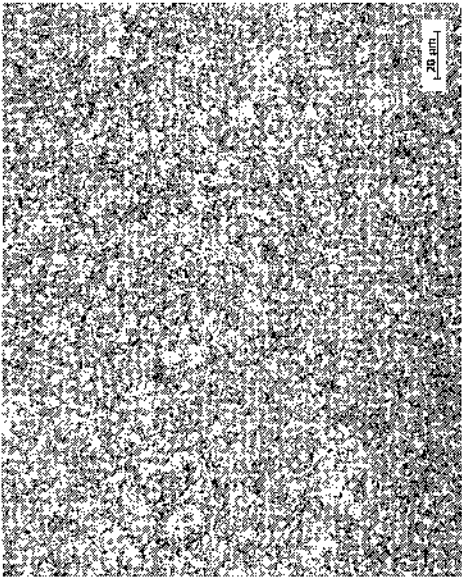
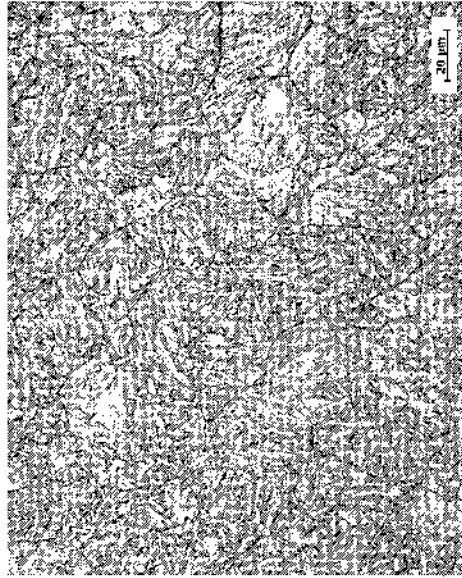
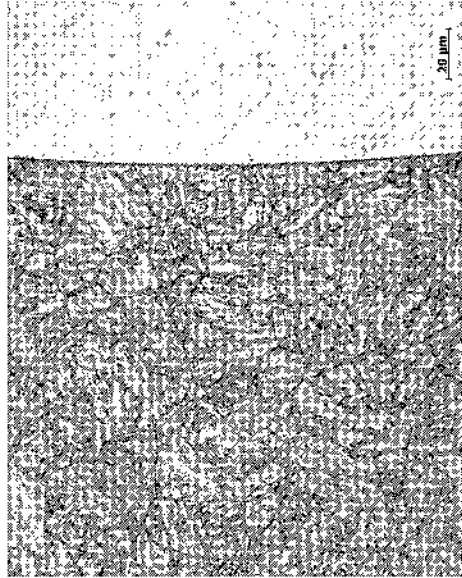
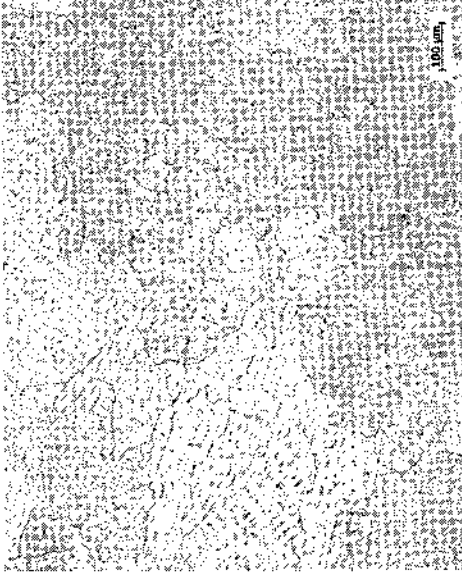
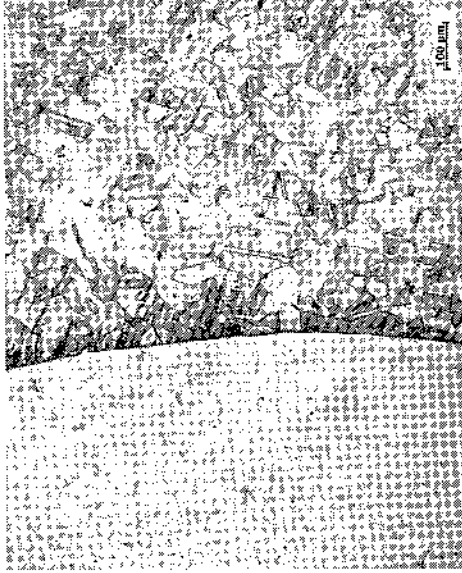

<p>组织说明: 图 D.13.1 宏观形貌 图 D.13.2 T91 母材: 回火马氏体 图 D.13.3 T91 侧不完全重结晶区: 回火马氏体 图 D.13.4 T91 侧重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.13.3 T91 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.13.4 T91 侧重结晶区</p>
<p>牌号: T91+TP347 规格: $\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂: T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液; TP347 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 205 °C ~ 300 °C 预热, 焊后 750 °C ~ 760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCr3</p>	 <p>图 D.13.5 T91 侧过热区</p>	 <p>图 D.13.6 T91 侧熔合区</p>

表 D.13 (续)

<p>组织说明: 图 D.13.5 T91 侧过热区: 回火马氏体 图 D.13.6 T91 侧熔合区: 左→右为过热区→焊缝 图 D.13.7 焊缝: 枝晶状奥氏体</p>	 <p>图 D.13.7 焊缝</p>	
<p>牌号: T91+TP347 规格: $\phi 60 \times 8$ mm 浸蚀剂: T91 侧为三氯化铁盐酸水溶液; TP347 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 205 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCr3</p> <p>组织说明: 图 D.13.8 TP347 侧熔合区: 左→右为焊缝→热影响区 图 D.13.9 TP347 母材: 孪晶奥氏体</p>	 <p>图 D.13.8 TP347 侧熔合区</p>	 <p>图 D.13.9 TP347 母材</p>

43 D.14 T92+HR3C 对接焊接接头金相组织图片, 见表 D.14。

表 D.14 T92+HR3C 对接焊接接头金相组织图片

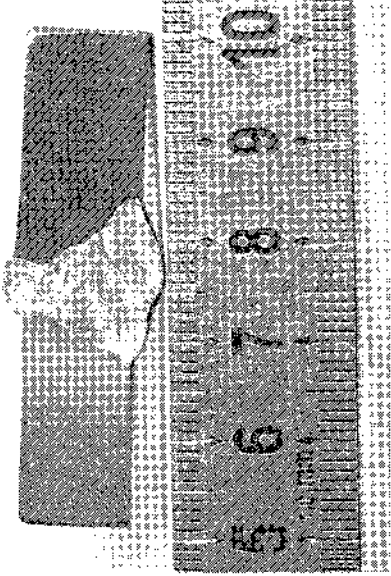
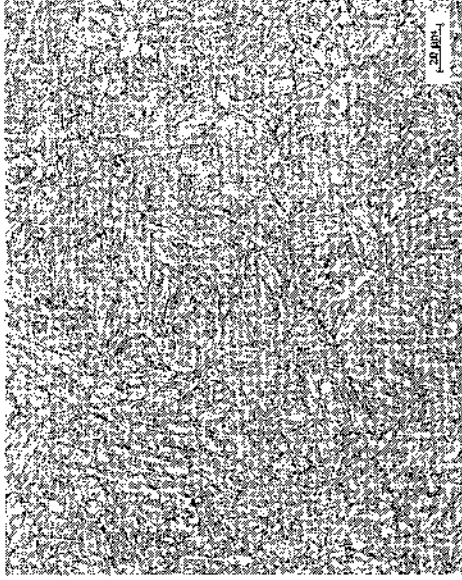

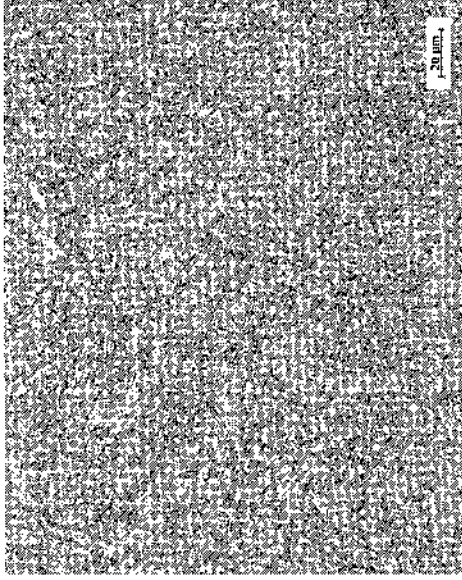
<p>牌号: T92+HR3C 规格: $\phi 48 \times 8$ mm 浸蚀剂: T92 侧为三氯化铁盐酸水溶液; HR3C 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 200 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCrMo3</p>	 <p>图 D.14.1 宏观形貌</p>	 <p>图 D.14.2 T92 母材</p>
<p>组织说明: 图 D.14.1 宏观形貌 图 D.14.2 T92 母材: 回火马氏体 图 D.14.3 T92 侧不完全重结晶区: 回火马氏体 图 D.14.4 T92 侧重结晶区: 回火马氏体</p>	 <p>图 D.14.3 T92 侧不完全重结晶区</p>	 <p>图 D.14.4 T92 侧重结晶区</p>

表 D.14 (续)

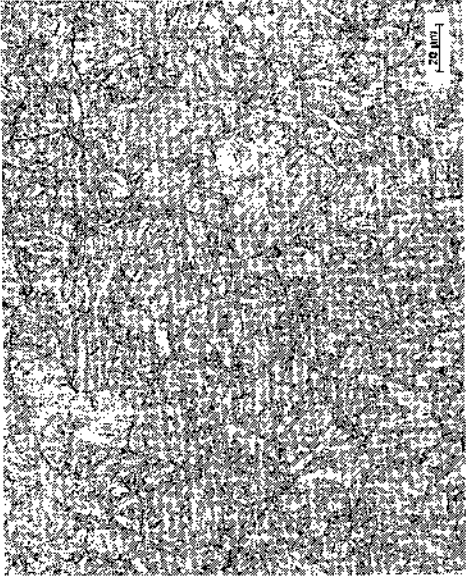
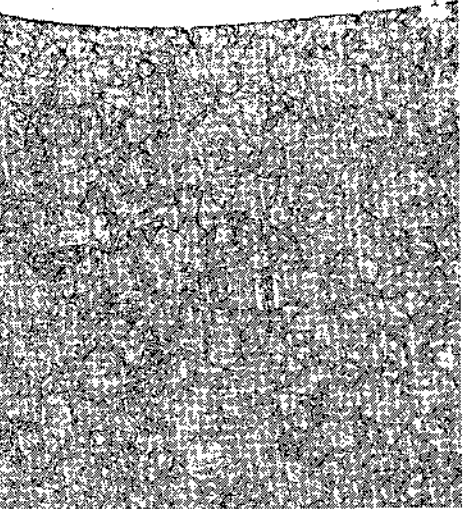
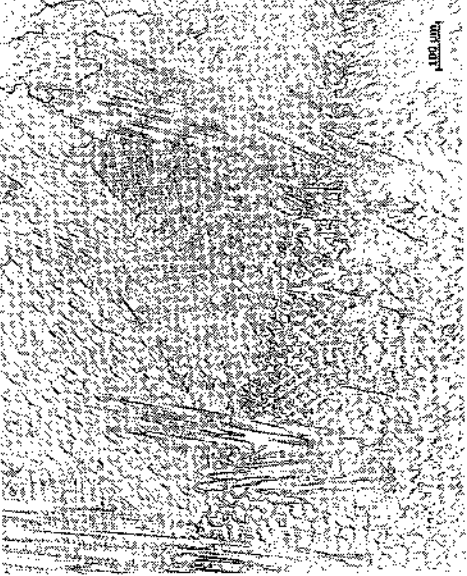
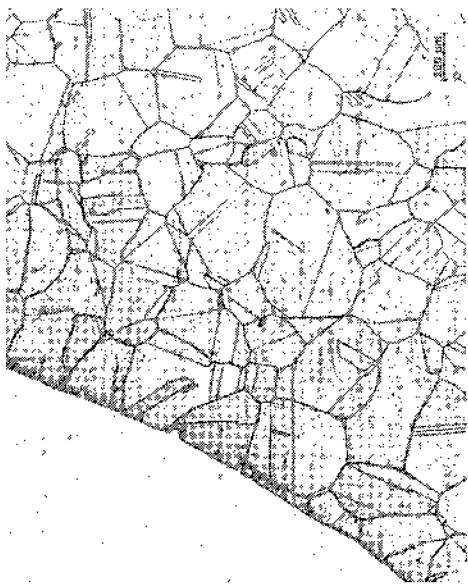
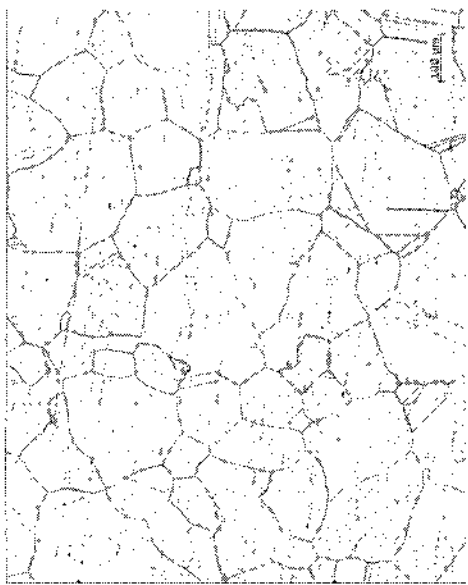
<p>牌号: T92+HR3C 规格: $\phi 48 \times 8$ mm 浸蚀剂: T92 侧为三氯化铁盐酸水溶液; HR3C 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热, 焊后 $750\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 760\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCrMo3</p>	 <p>图 D.14.5 T92 侧过热区</p>	 <p>图 D.14.6 T92 侧熔合区</p>
<p>组织说明: 图 D.14.5 T92 侧过热区: 回火马氏体 图 D.14.6 T92 侧熔合区: 左\rightarrow右为过热区\rightarrow焊缝 图 D.14.7 焊缝: 枝晶状奥氏体</p>	 <p>图 D.14.7 焊缝</p>	

表 D.14 (续)

<p>牌号: T92+HR3C 规格: $\phi 48 \times 8$ mm 浸蚀剂: T92 侧为三氯化铁盐酸水溶液; HR3C 侧和焊缝为王水 热处理: 焊前 200 °C~300 °C 预热, 焊后 750 °C~760 °C 保温 1 h 回火处理 焊接工艺参数: GTAW, 焊丝 ERNiCrMo3</p> <p>组织说明: 图 D.14.8 HR3C 侧熔合区: 左\右为焊缝\热影响区 图 D.14.9 HR3C 母材: 孪晶奥氏体</p>	 <p>图 D.14.8 HR3C 侧熔合区</p>	 <p>图 D.14.9 HR3C 母材</p>
--	--	---

中华人民共和国
电力行业标准
电力建设焊接接头
金相检验与评定技术导则
DL/T 2054—2019

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2021年7月第一版 2021年7月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 3印张 97千字

*

统一书号 155198·2827 定价 45.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



中国电力百科网网址



电力标准信息微信

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息



155198.2827