



## 研究生课程教学大纲

课程名称：	金属焊接区断口分析		
	Fracture analysis of metal welding area		
课程编号：	ZX14114T		
开课单位：	材料科学与工程学院	开课学期：	春季学期
课内学时：	32	学分：	2
适用学科 专业及层次：	材料科学与工程/材料与化工，硕士研究生		
授课语言：	中文		
先修课程：	材料工程基础、金属力学性能、焊接冶金与焊接性		
负责人：	韩彬	团队成员：	李学达，赵卫民，李立英

### 一、课程简介

(300-500字，为宋体小四号字。简要介绍的性质、主要教学内容、课程学习目标等。)

本课程为材料科学与工程、材料与化工硕士研究生开设的专业选修课。主要介绍金属材料及焊接区断口特征分析，包括金属失效及断裂力学基础、典型金属断口的宏观及微观特征分析、各种类型的焊接裂纹断口形貌特征及其形成机制分析、焊接接头脆化及脆性断裂断口形貌特征分析、焊接接头环境敏感破坏的断口形貌特征分析等内容。通过本课程的学习掌握金属材料失效及焊接区断口的宏观和微观特征、形成机理和分析方法。

### 二、课程大纲

#### (一) 课程目标

(注：根据课程性质，描述课程教学在培养学生知识、能力、素质等方面的贡献。)

培养方案内课程必须与培养目标相对应，举例如下）

目标 1：掌握金属材料及焊接区断裂机制及断口特征，包括金属失效及断裂、典型金属断口的宏观及微观特征、焊接裂纹断口形貌特征及其形成机制、焊接接头脆化及脆性断裂断口形貌特征、焊接接头环境敏感破坏的断口形貌特征等。

目标 2：掌握金属材料及焊接区断裂失效及断口分析先进方法，能够就实际断裂失效实例进行综合分析和判断，并提出改进措施。

## （二）课程内容

（按章节顺序编写，编号见下例，每一章要说明该章的教学重点和难点，每一节要详细说明本节的具体教学内容。具体内容应清楚地表达知识、技能的范围和深度，充分反映课程的知识和技能要求，体现课程特点。对于实践教学环节如实验、实习、研讨课、其它实践活动等，应当在此处说明各环节如实验项目的基本教学内容、教学要求等。）

### 第 1 章 金属的断裂

#### 本章重点难点

##### 1.1 断裂的定义及分类

韧性断裂，脆性断裂，正断和切断，沿晶断裂和穿晶断裂，解理、微孔聚集型、纯剪切，静载、冲击、疲劳

##### 1.2 材料的韧性及断裂力学简介

低应力脆断及材料的韧性，裂纹尺寸与断裂强度的关系，应力场强度分析与断裂韧性

##### 1.3 焊接结构的断裂

焊接缺陷，焊接结构的断裂

### 第 2 章 断口分析技术

#### 本章重点难点

##### 2.1 断口分析的定义和分类

韧性断裂，脆性断裂，正断和切断，沿晶断裂和穿晶断裂，解理、微孔聚集型、纯剪切，静载、冲击、疲劳

##### 2.2 断口形貌学的发展及任务

断口形貌学的由来及发展，断口形貌学的任务

##### 2.3 断口形貌分析技术

断口试样的截取、清洗及保存，断口的宏观分析技术，断口的微观分析技术，断口辅助分析技术，断口裂纹源的判别

##### 2.4 断口形貌学在焊接中的应用

在分析焊接缺陷中的应用，在分析脆性断裂中的应用

### 第 3 章 典型金属断口的宏观与微观分析

#### 本章重点难点

##### 3.1 典型断口的宏观形貌分析

光滑试棒拉伸断口，带缺口的圆棒拉伸断口，矩形试样拉伸断口

V形缺口试样冲击断口的宏观形貌，夏比冲击（纤维、放射、剪切唇）、落锤，DBTT， $t_k$ （NDT, FTE, FTP, FATT<sub>50</sub>），疲劳断口的宏观形貌

累积损伤，疲劳源、疲劳区、瞬断区（光亮度最大、贝纹线、断口粗糙）

### 3.2 典型断口的微观形貌分析

韧性断裂断口的微观特征及其形成机制，形核、长大、聚合、断裂，韧窝（第二相粒子，基体）

脆性断裂断口的微观特征及其形成机制，解理断裂，解理台阶、河流花样、扇形花样、舌状花样、人字形花样、二次裂纹、准解理花样，解理断裂的微观机制，疲劳断裂，断块（台阶）、疲劳条纹、轮胎压痕，晶界断裂

## 第4章 焊接区裂纹断口金相分析

### 本章重点难点

#### 4.1 焊接热裂纹断口形貌分析

焊接热裂纹的形式与分类，凝固裂纹的形成条件与断口特征，液化裂纹的形成条件与断口特征，高温失塑裂纹的形成条件与断口特征

#### 4.2 焊接冷裂纹断口形貌分析

氢致延迟裂纹断口特征及其形成机制，淬火裂纹断口特征及其形成机制

#### 4.3 焊接再热裂纹断口特征及形成机制

裂纹性质、宏观特征及形成条件，裂纹形成机制及断口微观形貌

#### 4.4 层状撕裂断口形貌分析

层状撕裂的特征，层状撕裂产生机理及断口形貌

## 第5章 焊接区脆化及脆性断裂断口形貌分析

### 本章重点难点

#### 5.1 焊缝金属的低温脆性及其断口分析

焊缝金属的低温脆断及其最薄弱环节，焊缝金属低温冲击断口分析

#### 5.2 热影响区脆化及低温脆断断口形貌分析

熔合线脆化，奥氏体晶粒粗化的影响，M-A组元生成的影响，碳、氮化物的固溶与析出的影响，硫化物的固溶及析出的影响，熔合线脆化的减轻，多层焊热影响区中的局部脆化，热应变脆化（Hot Straining Embrittlement, HSE）

## 第6章 焊接接头腐蚀开裂断口形貌分析

### 本章重点难点

#### 6.1 焊接接头的晶间腐蚀

奥氏体不锈钢焊接热影响区中的敏化区腐蚀，稳定型奥氏体不锈钢热影响区中的刀状腐蚀，铁素体不锈钢热影响区中的局部腐蚀

#### 6.2 母材及焊接接头的应力腐蚀开裂

应力腐蚀裂纹的类型，应力腐蚀裂纹的断口形貌分析

#### 6.3 氢侵蚀开裂

氢侵蚀裂纹的机制，氢侵蚀裂纹的断口形貌分析

## 第7章 焊接区断裂失效分析举例

### 本章重点难点

焊接结构设计引起的断裂失效，焊接材料强度匹配引起的断裂失效，焊接缺陷引起的断裂失效，焊接区脆化引起的断裂失效

### 三、教学安排及要求

内容	课内学时	教学方式	课外学时	课外环节	课程目标
1. 1-1-2	2	理论讲授/案例研讨	4	文献阅读/案例分析	目标 1/目标 2
1-2-1. 3	2	理论讲授/案例研讨	4	文献阅读	目标 1
2. 1-2-2	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
2-3-2-4	2	理论讲授	4	文献阅读/案例分析	目标 1
3-1	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
3-1	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
3-2	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
3-2	2	理论讲授	4	文献阅读/案例分析	目标 1
4-1-4-2	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
4-3-4-4	2	理论讲授	4	案例分析/专题调研	目标 1
5-1	2	理论讲授	4	文献阅读	目标 1
5-2	2	理论讲授	4	案例分析/专题调研	目标 1

6-1-6-3	2	理论讲授	4	文献阅读/案例分析	目标 1
7	2	案例研讨	4	案例分析/专题调研	目标 2
7	2	案例研讨	4	案例分析/专题调研	目标 2
7	2	案例研讨	4	案例分析/专题调研	目标 2

#### 四、考核内容、方式及评分标准

##### (一) 考核环节

考核环节		总成绩占比	支撑课程目标
平时作业	1. 平均每周 1 道题, 体现综合性及挑战度。 2. 成绩采用百分制, 根据作业完成准确性、是否按时上交、是否独立完成评分。 3. 考核学生对基本知识的掌握能力, 综合运用所学知识分析问题、解决问题的能力, 题型主要有综合分析、调研报告、案例分析报告等。	10%	目标 1、2
课堂测试	1. 每堂课采用雨课堂等教学平台开展课堂测试, 本次或上次课内容 10 题左右。 2. 题型有判断题、单项选择题、多项选择题等, 考核学生对基本知识的掌握能力和综合运用能力。 3. 成绩采用百分制, 督促学生认真听讲, 测试学生学习效果。	15%	目标 1, 2
课堂表现 (含专题报告)	1. 本课程有课堂提问并要求每个学生记笔记, 上传石大云课堂等教学平台。 2. 有 2 次课堂报告 (实际断裂失效综合分析, 专题报告/案例分析报告), 每次占比 50%。 3. 成绩采用百分制, 主要根据 PPT 准备、讲述表现、综合应用知识分析问题解决问题的能力、创新性等评分。	15%	目标 1, 2
实验/实训	1. 本课程 8 个学时实训, 共 4 次实训。 2. 成绩采用百分制, 根据实验/实训完成情况评分。 3. 考核学生对知识的综合应用能力。	20%	目标 3
期末考试	1. 闭卷考试和开卷考试相结合, 各占 50%	40%	目标 1-2

	分，卷面成绩总分 100 分。 2. 主要考核学生综合运用所学知识分析问题、解决问题的能力，开卷考试题型均为综合分析题，体现综合性及挑战度。		
--	---	--	--

考核为闭卷考试和开卷考试相结合。成绩评定：平时成绩 60%左右，考试成绩 40%左右；平时成绩包括：平时作业、大作业报告、关于失效及断口分析的 PPT 汇报讨论等。

## （二）评分标准

考核环节	<60	60-75	75-90	90-100
平时作业	不按时提交作业，问题分析和方案设计存在严重问题，作业完成不认真。	按时提交作业，问题分析基本正确、方案设计基本合理，文献查阅不足。	按时提交作业，问题分析正确，方案设计合理，能够查阅相关文献。要点有，但分析不足。	按时提交作业，问题分析正确，方案设计合理，能够查阅相关文献并进行分析。书写认真、逻辑清楚。
课堂测试	根据答案评分	根据答案评分	根据答案评分	根据答案评分
课堂表现 (含专题报告)	不主动参与讨论，被动参与时不能提出解决方案，PPT 制作及汇报不完整	能够主动参与讨论，但所提出的方案存在问题；或者被动参与讨论，所提出的方案基本合理，PPT 制作及汇报差。	能够参与讨论，所提出的方案合理，PPT 制作及汇报良好。	能够主动参与讨论，所提出的方案合理，PPT 制作及汇报好。
实验/实训	不主动参与实验/实训，被动参与时不能完成工作	能够主动参与实验/实训，但所提出的方案存在问题，实验/实训报告撰写差	能够参与实验/实训，所提出的方案合理，实验/实训报告撰写良好。	能够主动参与实验/实训，所提出的方案合理，实验/实训报告撰写好。
期末考试	根据参考答案评分	根据参考答案评分	根据参考答案评分	根据参考答案评分

## （三）考核环节

考核环节	目标 1	目标 2
------	------	------

平时作业	10%	10%
课堂测试	20%	10%
课堂表现（含专题报告）	20%	20%
实验/实训	20%	30%
期末考试	30%	30%
总权重	100%	100%

## 五、教材与参考资料

（正文为宋体小四号字。正式出版教材要求注明教材名称、作者姓名、出版社、是否自编教材；自编教材要求注明是否成册、编写者姓名、编写者职称、字数等。

### （一）教材

1. 韩彬 教授. 《金属焊接区断口分析学》. 自编教材, 成册, 2020 年, 40 万字

2. 田燕. 《焊接区断口金相分析》. 北京: 机械工业出版社, 1991.10

### （二）主要参考资料:

参考书目格式如下:

1. 钟群鹏, 赵子华. 《断口学》. 北京: 高等教育出版社, 2006.06

2. J. H. Chen, R. Cao, 著. 曹睿 译. 《金属解理断裂微观机理》. 北京: 科学出版社, Elsevier, 2018.6

3. 崔约贤, 王长利. 《金属断口分析》. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.04

4. 霍立兴. 《焊接结构的断裂行为及评定》. 北京: 机械工业出版社, 2000.06

5. 约翰 C. 利波尔德 著. 屈朝霞, 张汉谦, 王东坡 译. 《焊接冶金与焊接性》. 机械工业出版社, 2017.01

6. G. 亨利, D. 豪斯特曼. 《宏观断口学及显微断口学》. 北京: 机械工业出版社, 1990.07

7. 姜锡山, 赵晗. 《钢铁显微断口速查手册》. 北京: 机械工业出版社, 2010.05

8. 王勇, 王引真, 张德勤. 《材料冶金学与成型工艺》. 东营: 石油大学出版社, 2004.12

9. 张文钺. 《焊接物理冶金》. 天津: 天津大学出版社, 1991. 08  
TG403/02

10. 赵建生. 《断裂力学及断裂物理》. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003.  
0346. 1/30

## 六、其它说明

无

大纲执笔人：韩彬

审核人（学位点负责人）：

分管院长签字：