

学生培养成效

九、学生学科竞赛主要获奖（国家级 50 项，省部级 19 项，共 69 项）

序号	姓名	竞赛项目名称	竞赛级别	竞赛/获奖时间	获奖等级
1	王皓	第七届“互联网+”大学生创新创业大赛	国家级	2021	铜奖
2	王佳琪	第六届“互联网+”大学生创新创业大赛	国家级	2020	铜奖
3	史鑫伟	第四届“互联网+”大学生创新创业大赛	国家级	2018	铜奖
4	王明磊	第十六届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛	国家级	2019	三等奖
5	郭月婷	"徕卡杯"第十届全国大学生金相技能大赛	国家级	2021	优胜奖
6	王英杰	"徕卡杯"第十届全国大学生金相技能大赛	国家级	2021	二等奖
7	王凤超	"徕卡杯"第十届全国大学生金相技能大赛	国家级	2021	三等奖
8	王晋渝	"徕卡杯"第九届全国大学生金相技能大赛	国家级	2020	三等奖
9	王岩	"徕卡杯"第九届全国大学生金相技能大赛	国家级	2020	三等奖
10	景永岩	"徕卡杯"第八届全国大学生金相技能大赛	国家级	2019	三等奖
11	司宏丽	"徕卡杯"第八届全国大学生金相技能大赛	国家级	2019	三等奖
12	岳铂奇	"徕卡杯"第七届全国大学生金相技能大赛	国家级	2018	一等奖
13	所平原	"徕卡杯"第七届全国大学生金相技能大赛	国家级	2018	二等奖
14	刘笛	"徕卡杯"第七届全国大学生金相技能大赛	国家级	2018	三等奖
15	杨旭东	"徕卡杯"第六届全国大学生金相技能大赛	国家级	2017	一等奖
16	秦晨	"徕卡杯"第六届全国大学生金相技能大赛	国家级	2017	二等奖
17	王科龙	"徕卡杯"第六届全国大学生金相技能大赛	国家级	2017	二等奖
18	阮翔	第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2019	一等奖
19	韩璐	第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2019	二等奖
20	董思雨	第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2019	二等奖
21	岳铂奇	第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2018	特等奖
22	所平原	第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2018	壹等奖
23	陈转铃	第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2018	贰等奖
24	王科龙	第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2017	特等奖
25	杨旭东	第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2017	一等奖

26	乔晓辉	第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2017	二等奖
27	史志康	第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2016	一等奖
28	王坤	第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2016	一等奖
29	张云龙	第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛	国家级	2016	三等奖
30	赵瑛	第五届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛	国家级	2019	二等奖
31	刘笛	第四届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛	国家级	2018	贰等奖
32	秦晨	第三届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛	国家级	2017	特等奖
33	崔建新	第二届“标乐·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛	国家级	2016	三等奖
34	黄瑞东 郭月婷 王霄	第八届中国大学生机械工程创新创意大赛-材料热处理大赛	国家级	2022	三等奖
35	李康雪 沈鸿葵 周桐	第七届中国大学生机械工程创新创意大赛-材料热处理大赛	国家级	2021	三等奖
36	刘延振 阮秋生 王建炜 王友龙 王晓龙	TRIZ 杯第九届中国大学生创新方法大赛	国家级	2021	三等奖
37	李康雪 燕宇 王俏俏	第六届全国失效分析大奖赛	国家级	2021	一等奖
38	李林涛、 刘畅	第五届全国失效分析大奖赛	国家级	2020	二等奖
39	王云海、 邵云	第四届全国失效分析大奖赛	国家级	2019	二等奖
40	张青龙 李天赐	第三届全国失效分析大奖赛	国家级	2018	二等奖
41	高志军 赵岳林	第二届全国失效分析大奖赛	国家级	2017	一等奖
42	孙梦彬 秦影	第一届全国失效分析大奖赛	国家级	2016	一等奖
43	沈鸿葵 胡金虎 李康雪 周晓帆	第四届全国大学生冶金科技竞赛	国家级	2021	二等奖

44	罗子君	第四届全国大学生冶金科技竞赛	国家级	2021	二等奖
45	林伊铃	第四届全国大学生冶金科技竞赛	国家级	2021	三等奖
46	周桐 宋英豪 周晓帆	第三届全国大学生冶金科技竞赛	国家级	2020	二等奖
47	况家瑾	全国大学生计算机技能应用大赛	国家级	2020	二等奖
48	况家瑾	第十二届全国大学生数学竞赛	国家级	2020	一等奖
49	况家瑾	第十一届全国大学生数学竞赛	国家级	2019	三等奖
50	赵志浩	TRIZ 杯第四届全国大学生创新方法大赛	国家级	2016	二等奖
51	林伊铃	互联网+ 大学生创新创业大赛（《北疆新优牧-牲畜健康养殖领航者》）	省部级	2021	银奖
52	林伊铃	互联网+ 大学生创新创业大赛（《智牧源-牲畜智能养殖助力乡村振兴》）	省部级	2021	铜奖
53	周晓帆	全国大学生英语词汇能力大赛外教社词达人特等奖	省部级	2021	特等奖
54	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《基于 NB-IOT 的停车规划设计》）	省部级	2021	二等奖
55	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《同步-异步、可切换的轧机压下调整系统》）	省部级	2021	二等奖
56	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《蒙汉通-法务互译服务平台》）	省部级	2021	三等奖
57	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《优质畜产品溯源平台》）	省部级	2021	三等奖
58	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《农牧宝-农牧市场信息对接云平台》）	省部级	2021	三等奖
59	沈鸿葵 胡金虎 李康雪 周晓帆	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛（《优质高合金大钢锭的电磁能铸造技术开发》）	省部级	2021	三等奖
60	林伊铃	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生创业计划竞赛（《鹿鸣蒙汉法库》）	省部级	2020	一等奖
61	沈鸿葵	第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生创业计划竞赛（《草原畜产品溯源平台助力打造地方特色品牌》）	省部级	2020	特等奖
62	王霄 郭月婷 张丽	数维杯大学生数学建模竞赛	省部级	2021	三等奖
63	丁子琦 吴珺	内蒙古创新方法大赛大学生 TRIZ 杯专项赛	省部级	2020	优胜奖

64	张博君 王文 李兴振	第十二届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛第一阶段	省部级	2019	二等奖
65	张博君 王文 李兴振	第十二届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛第二阶段	省部级	2019	三等奖
66	张博君 王文 李兴振	全国大学生数学建模竞赛	省部级	2019	一等奖
67	吴沛泽 张凯东 樊玉春	全国大学生数学建模竞赛	省部级	2019	二等奖
68	王晋渝	内蒙古自治区第四届大学生工程训练综合能力竞赛	省部级	2019	三等奖
69	许哲 秦晨辉 康文强	全国大学生数学建模竞赛	省部级	2017	一等奖

1. 2021 年第七届“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖



2. 2020 年第六届“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖



3. 2018 年 第四届“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖



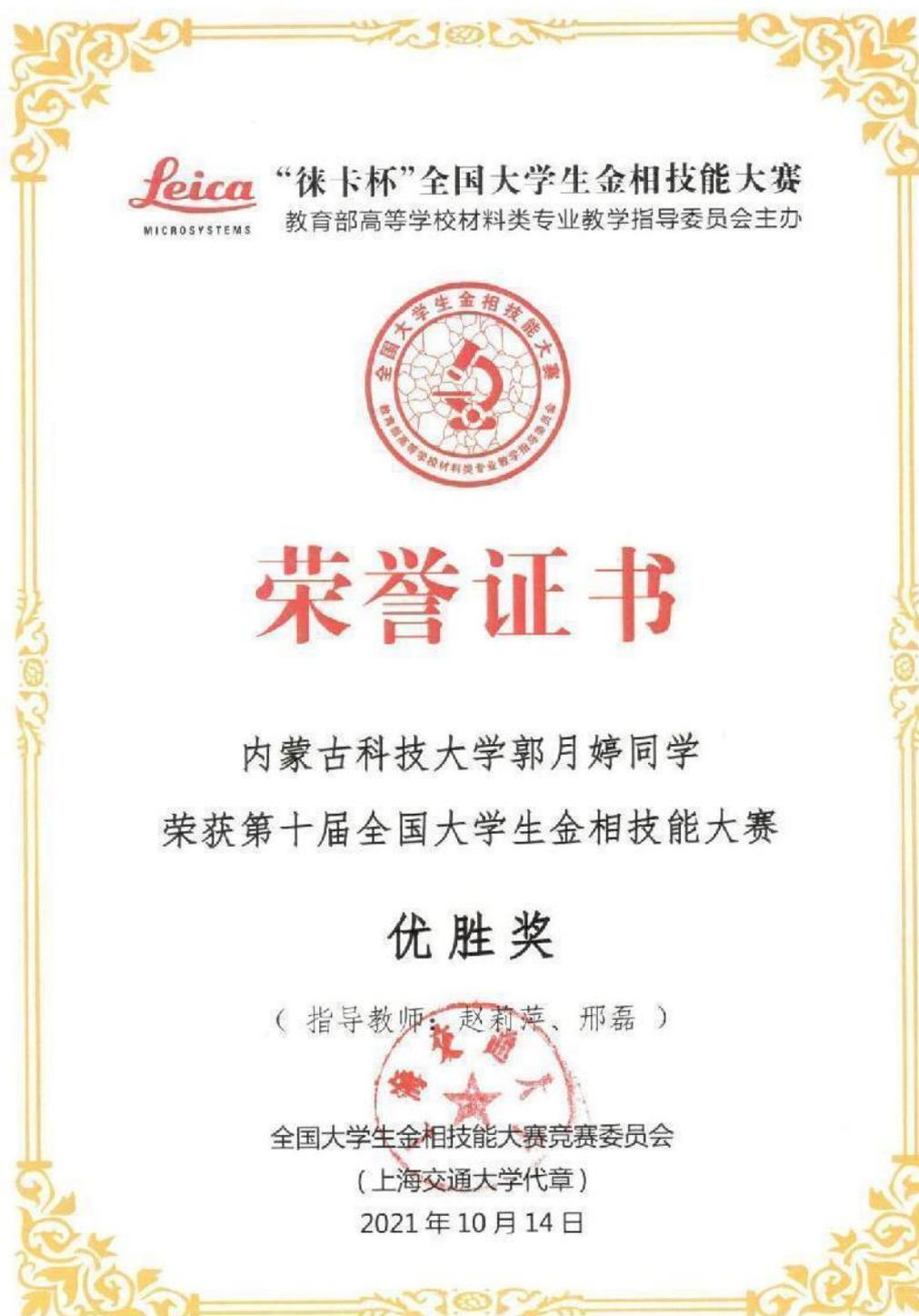
4. 2021 年第十届全国大学生金相技能大赛（王英杰）二等奖



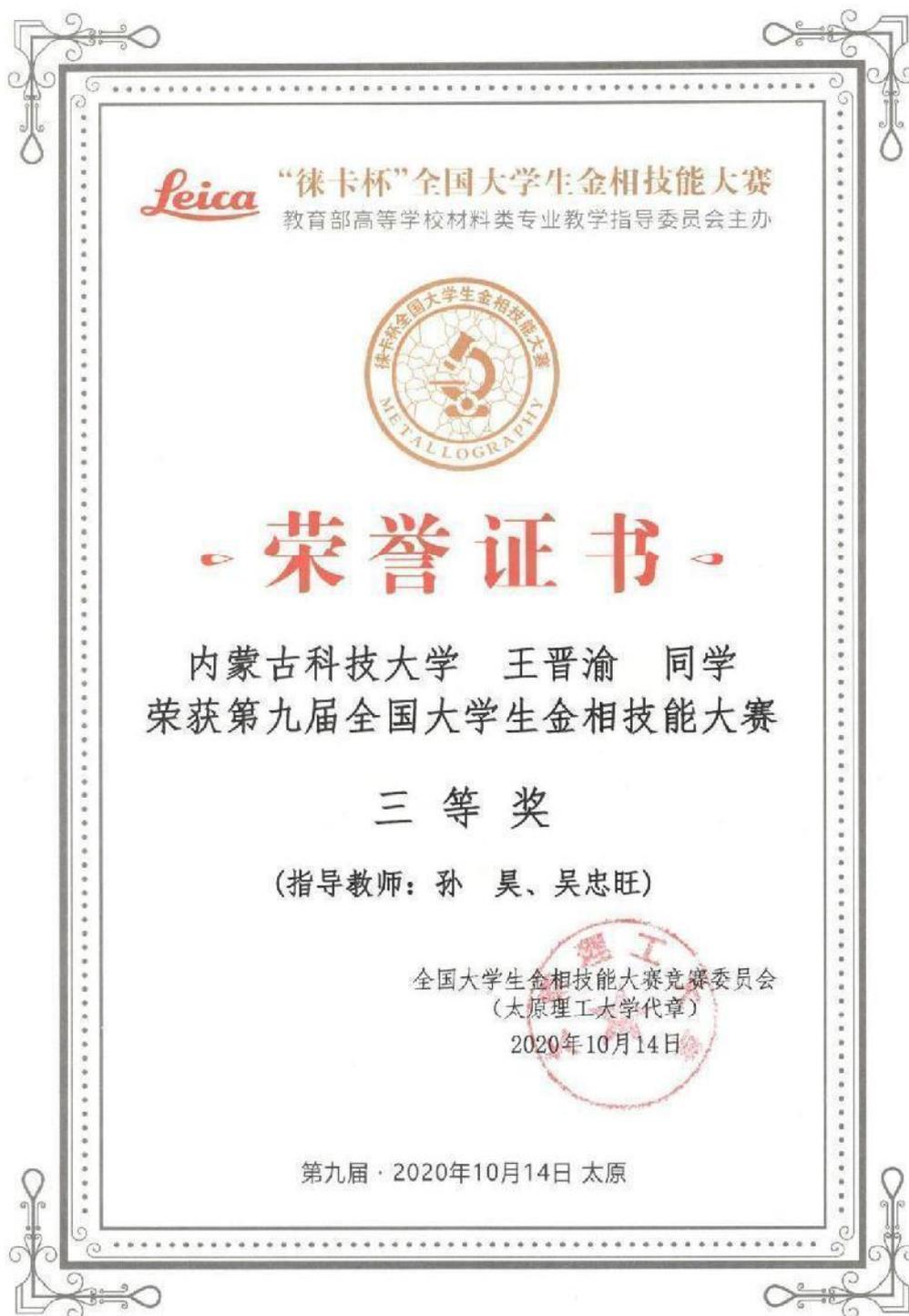
5. 2021 年第十届全国大学生金相技能大赛（王凤超）三等奖



6. 2021 年第十届全国大学生金相技能大赛（郭月婷）优胜奖



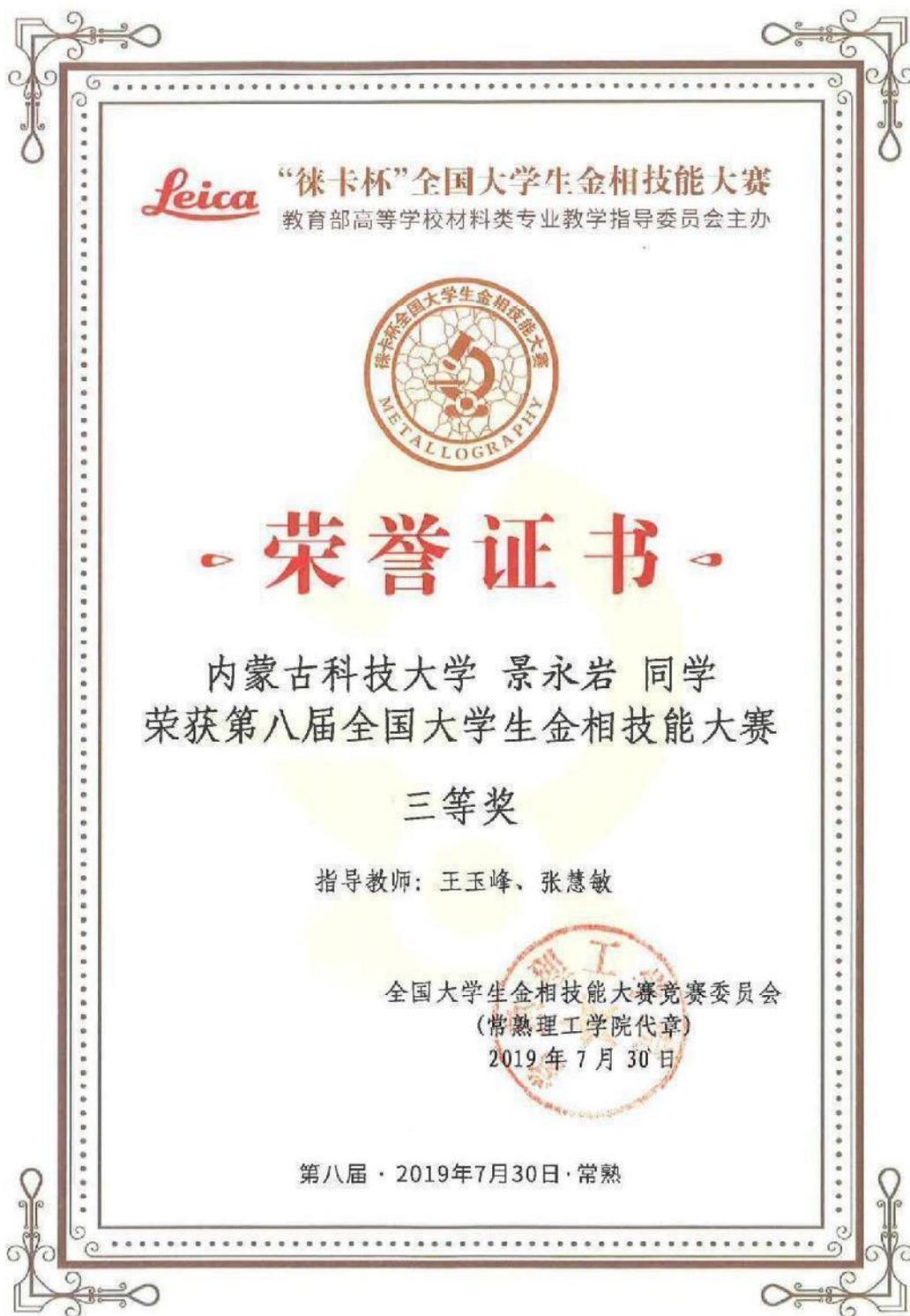
7. 2020 年第九届全国大学生金相技能大赛（王晋渝）三等奖



8. 2020 年第九届全国大学生金相技能大赛（王岩）三等奖



9. 2019 年第八届全国大学生金相技能大赛（景永岩）三等奖



10. 2019年第八届全国大学生金相技能大赛（司宏丽）三等奖



11. 2018年第七届全国大学生金相技能大赛（岳铂奇）一等奖



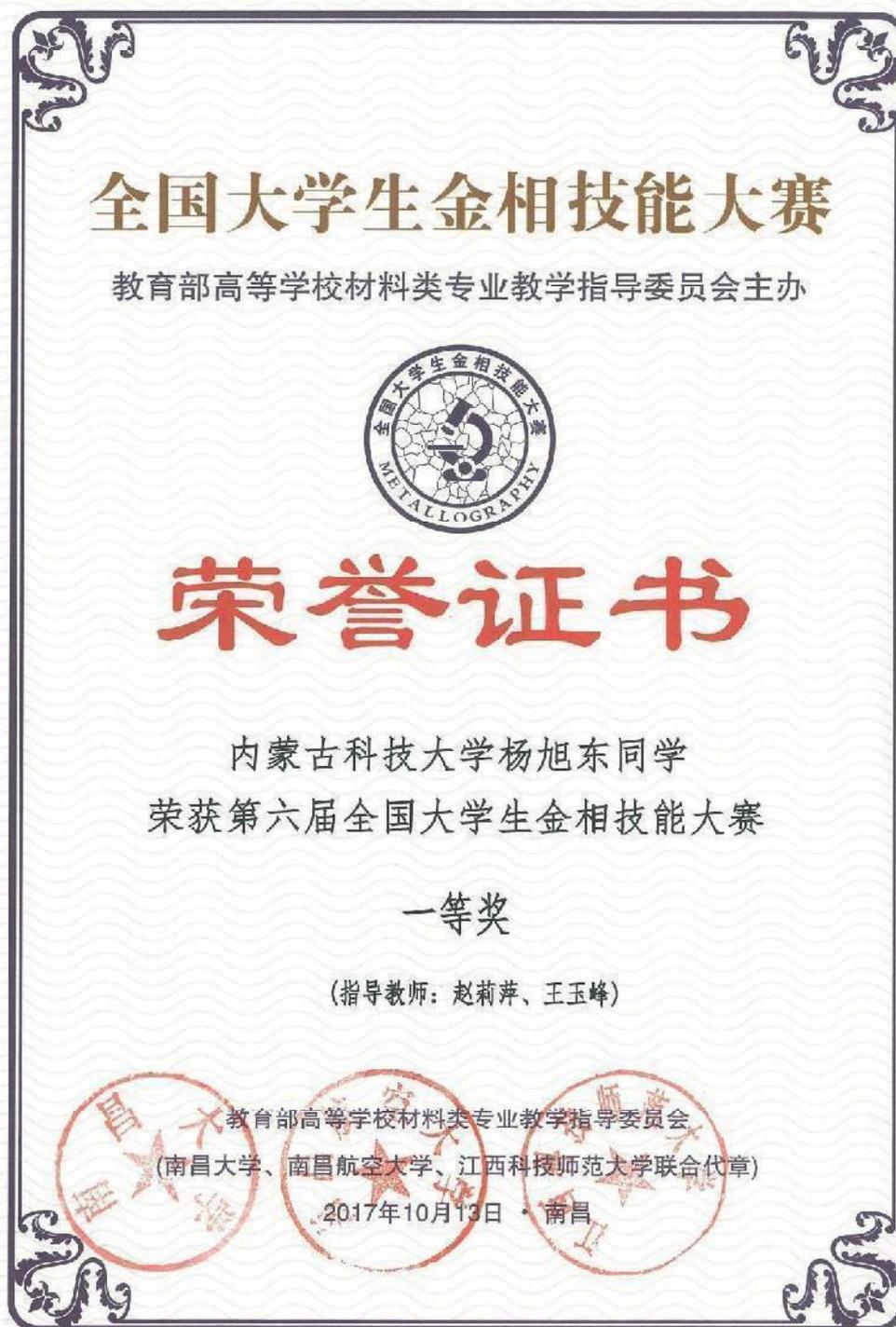
12. 2018年第七届全国大学生金相技能大赛（所平原）二等奖



13. 2018年第七届全国大学生金相技能大赛（刘笛）三等奖



14. 2017年第六届全国大学生金相技能大赛团体（杨旭东）一等奖



15. 2017年第六届全国大学生金相技能大赛团体（秦晨）二等奖



16. 2017年第六届全国大学生金相技能大赛团体（王科龙）二等奖



17. 2019年第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（阮翔）一等奖



18. 2019年第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（韩璐）二等奖



19. 2019年第七届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（董思雨）二等奖



20. 2018年第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（岳铂奇）特等奖



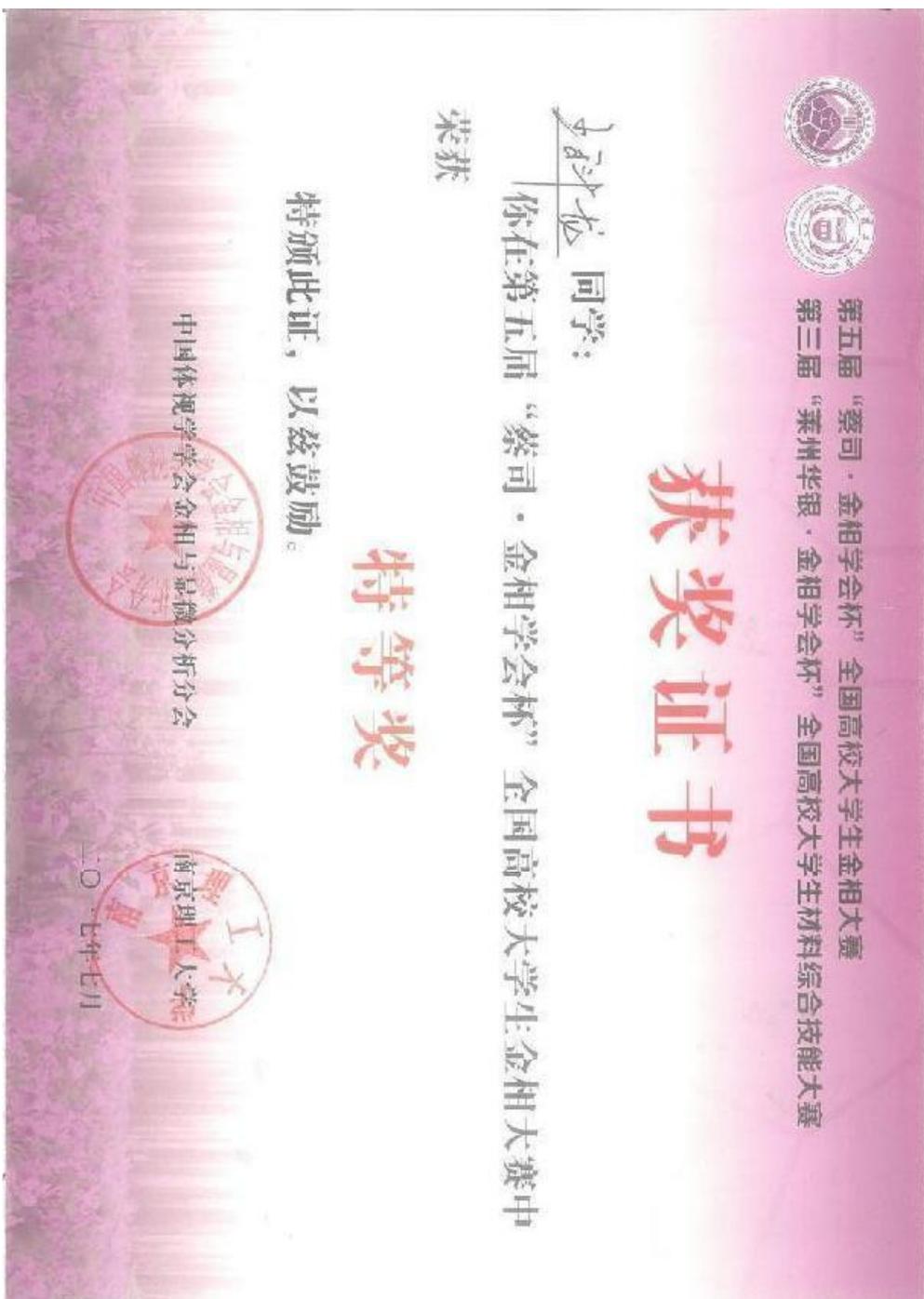
21. 2018年第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（所平原）壹等奖



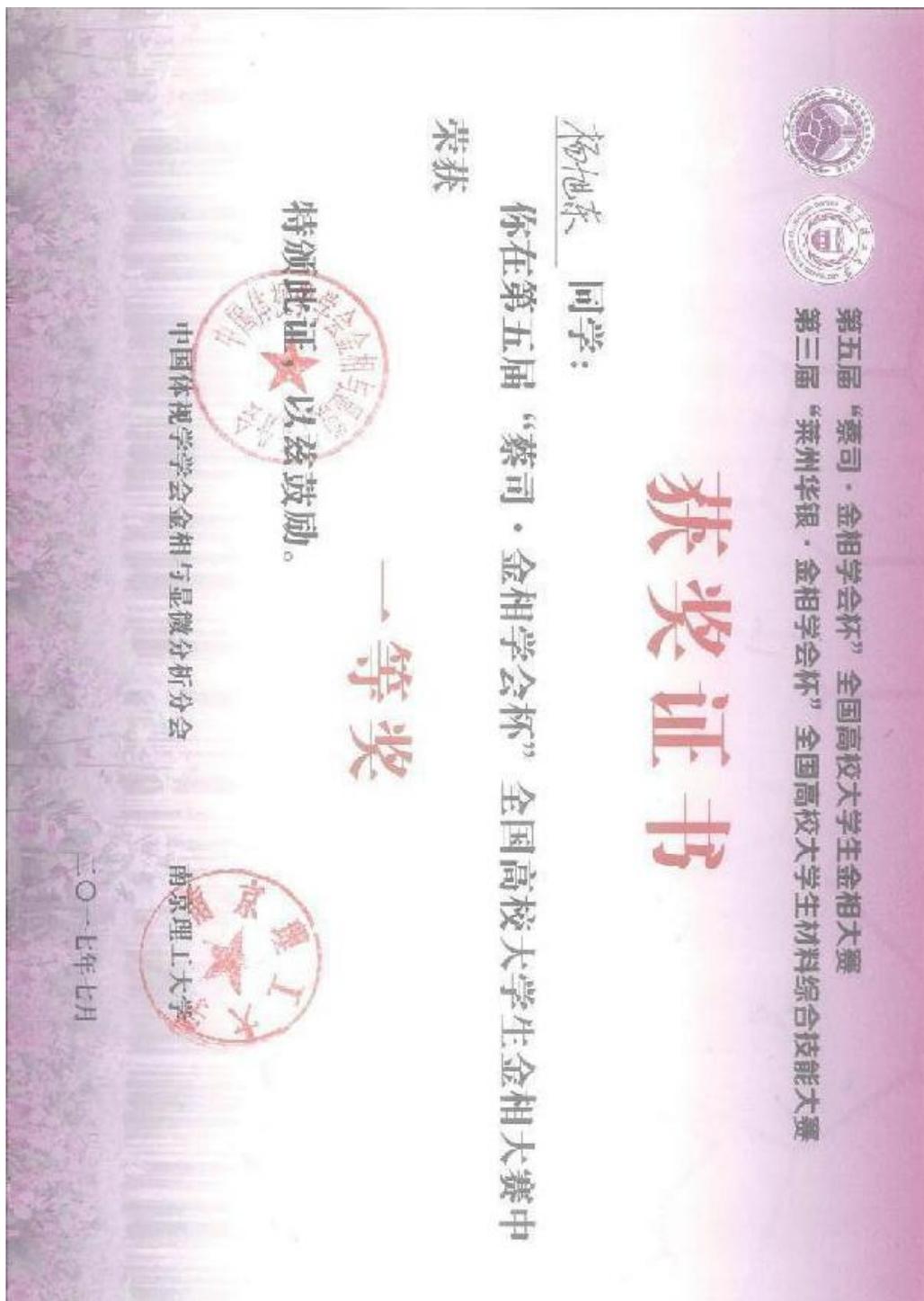
22. 2018年第六届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（陈转玲）贰等奖



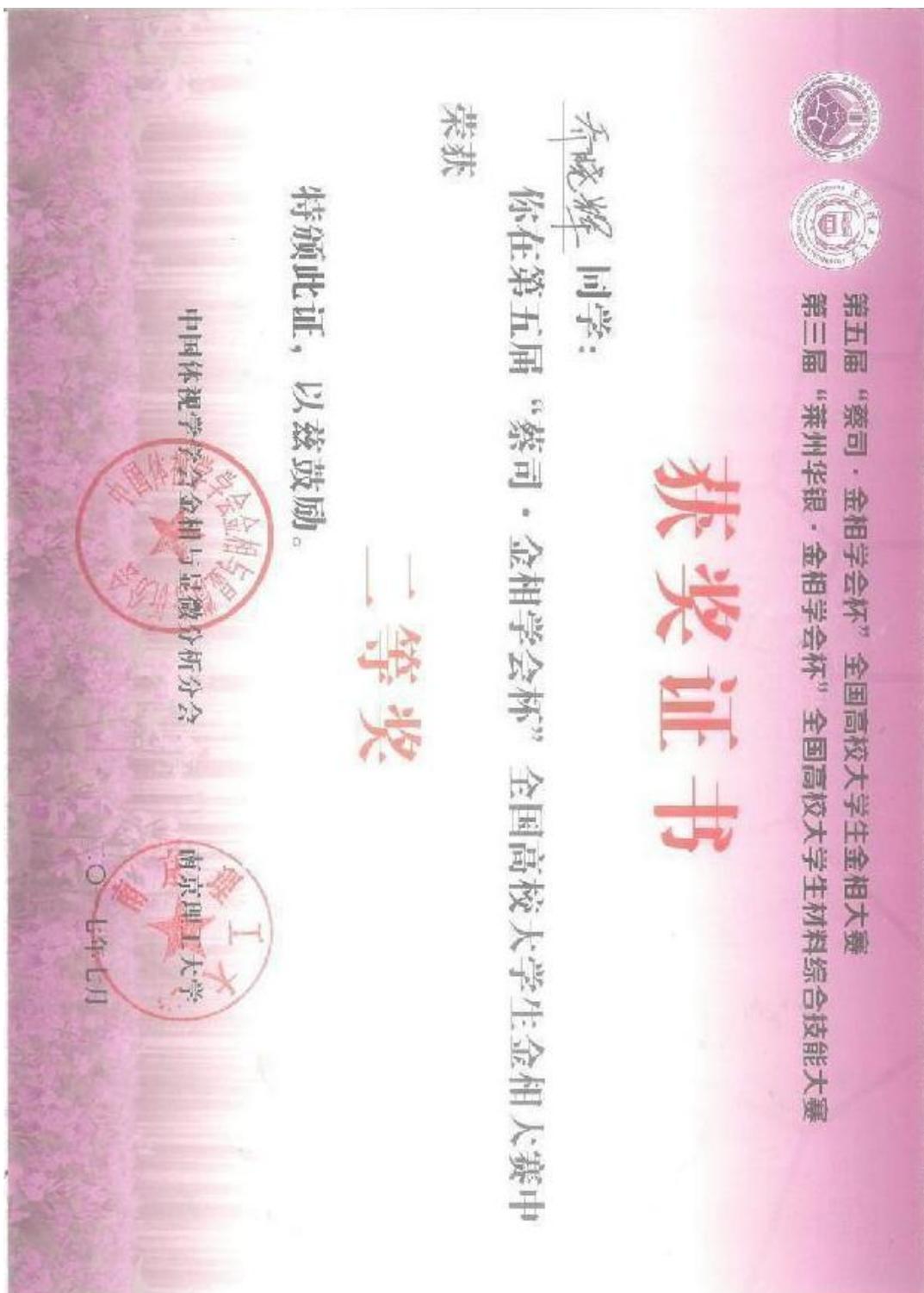
23. 2017年第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（王科龙）特等奖



24. 2017年第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（杨旭东）一等奖



25. 2017年第五届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（乔晓辉）二等奖



26. 2016年第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（史志康）一等奖



27. 2016年第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（王坤）一等奖



28. 2016年第四届“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛（张云龙）三等奖



29. 2019年第五届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛
(赵琿) 二等奖



30. 2018 年第四届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛
(刘笛) 贰等奖



31. 2017年第三届“莱州华银·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛
(秦晨) 特等奖



32. 2016年第二届“标乐·金相学会杯”全国高校大学生材料综合技能大赛（崔建新）三等奖



33. 2022 年第八届中国大学生机械工程创新创业大赛-材料热处理大赛（黄瑞东、郭月婷、王霄）三等奖

中国机械 工程学会 热处理分会

关于内蒙古科技大学的本-194 队伍获奖的情况说明

由于疫情影响“2022 中国大学生机械工程创新创业大赛：材料热处理创新创业赛”总决赛于 2022 年 8 月 14 日线上举行，来自内蒙古科技大学的本-194 队伍，作品为《淬火工艺对大尺寸锻件淬火过程影响的数值模拟研究》，参赛队员为：黄瑞东 燕怡彤 郭月婷 王霄，指导教师为：呼陟宇 杨礼林。经过初选、分组赛及总决赛，该队获得“2022 中国大学生机械工程创新创业大赛：材料热处理创新创业赛”三等奖，特此说明。



34. 2021 年第七届中国大学生机械工程创新创业大赛-材料热处理大赛（李康雪、沈鸿葵、周桐）三等奖



35. 2021 年 TRIZ 杯第九届中国大学生创新方法大赛（刘延振、阮秋生、王建炜、王友龙、王晓龙）三等奖



36. 2021 年第六届全国失效分析大奖赛（李康雪、燕宇、王俏俏）一等奖



37. 2020 年第五届全国失效分析大奖赛（李林涛、刘畅）二等奖



38. 2019年第四届全国失效分析大奖赛（王云海、邵云）二等奖



39. 2018年第三届全国失效分析大奖赛（张青龙、李天赐）二等奖



40. 2017年第二届全国失效分析大奖赛（高志军、赵岳林）一等奖



41. 2016年第一届全国失效分析大奖赛（孙梦彬、秦影）一等奖



42. 2021 年第四届全国大学生冶金科技竞赛（沈鸿葵、胡金虎、李康雪、周晓帆）二等奖



43. 2021年第四届全国大学生冶金科技竞赛（贺腾、纪祥辉、罗子君、张鹏伟）二等奖



44. 2021年第四届全国大学生冶金科技竞赛（孙耀、杨霄、吴子欣、林伊铃）
三等奖



45. 2020年第三届全国大学生冶金科技竞赛（周桐、宋英豪、周晓帆）二等奖



46. 2020 年全国大学生计算机技能应用大赛（况家瑾）二等奖



47. 2020年第十二届全国大学生数学竞赛（况家瑾）一等奖



48. 2019年第十一届全国大学生数学竞赛（况家瑾）三等奖



49. 2019年 第十六届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛（王明磊）
三等奖



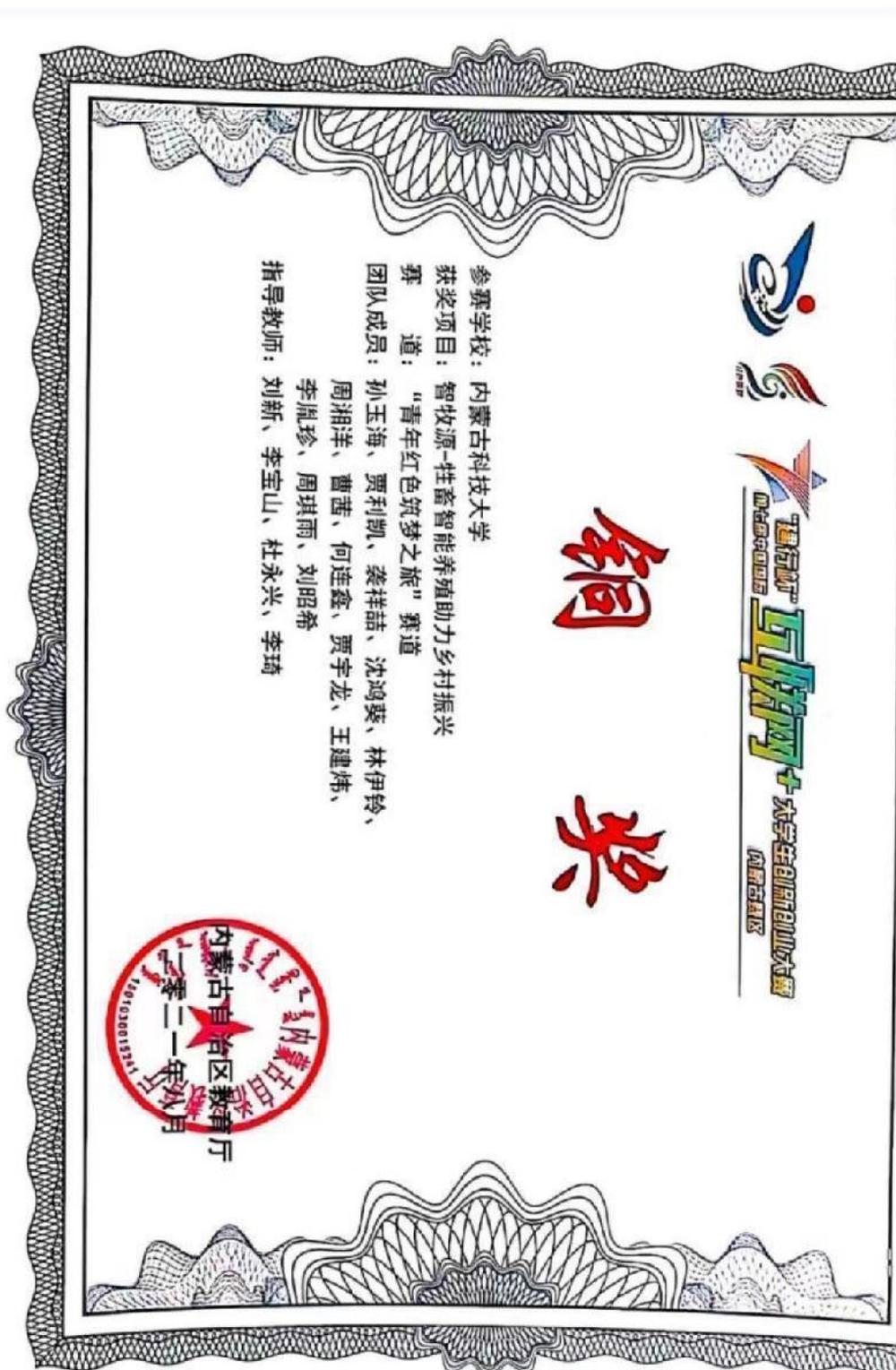
50. 2016 年 TRIZ 杯第四届全国大学生创新方法大赛（赵志浩）二等奖



51. 2021年 互联网+ 大学生创新创业大赛（《北疆新优牧-牲畜健康养殖领航者》）（林伊铃）银奖



52. 2021年 互联网+ 大学生创新创业大赛（《智牧源-牲畜智能养殖助力乡村振兴》）（林伊铃）铜奖



53. 2021 年全国大学生英语词汇能力大赛（周晓帆）特等奖



54. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
(《基于NB-IOT的停车规划设计》)(林伊铃)二等奖



55. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
(《同步-异步、可切换的轧机压下调整系统》)(林伊铃)二等奖



56. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
(《蒙汉通-法务互译服务平台》)(林伊铃)三等奖



57. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
(《优质畜产品溯源平台》)(林伊铃)三等奖



58. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
(《农牧宝-农牧市场信息对接云平台》)(林伊铃)三等奖



59. 2021年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生课外学术科技作品竞赛
（《优质高合金大钢锭的电磁能铸造技术开发》）（沈鸿葵、胡金虎、李康雪、周晓帆）三等奖



60. 2020年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生创业计划竞赛（《鹿鸣蒙汉法库》）（林伊铃）一等奖



61. 2020年第十二届“挑战杯”内蒙古自治区大学生创业计划竞赛（《草原畜产品溯源平台助力打造地方特色品牌》）（沈鸿葵）特等奖



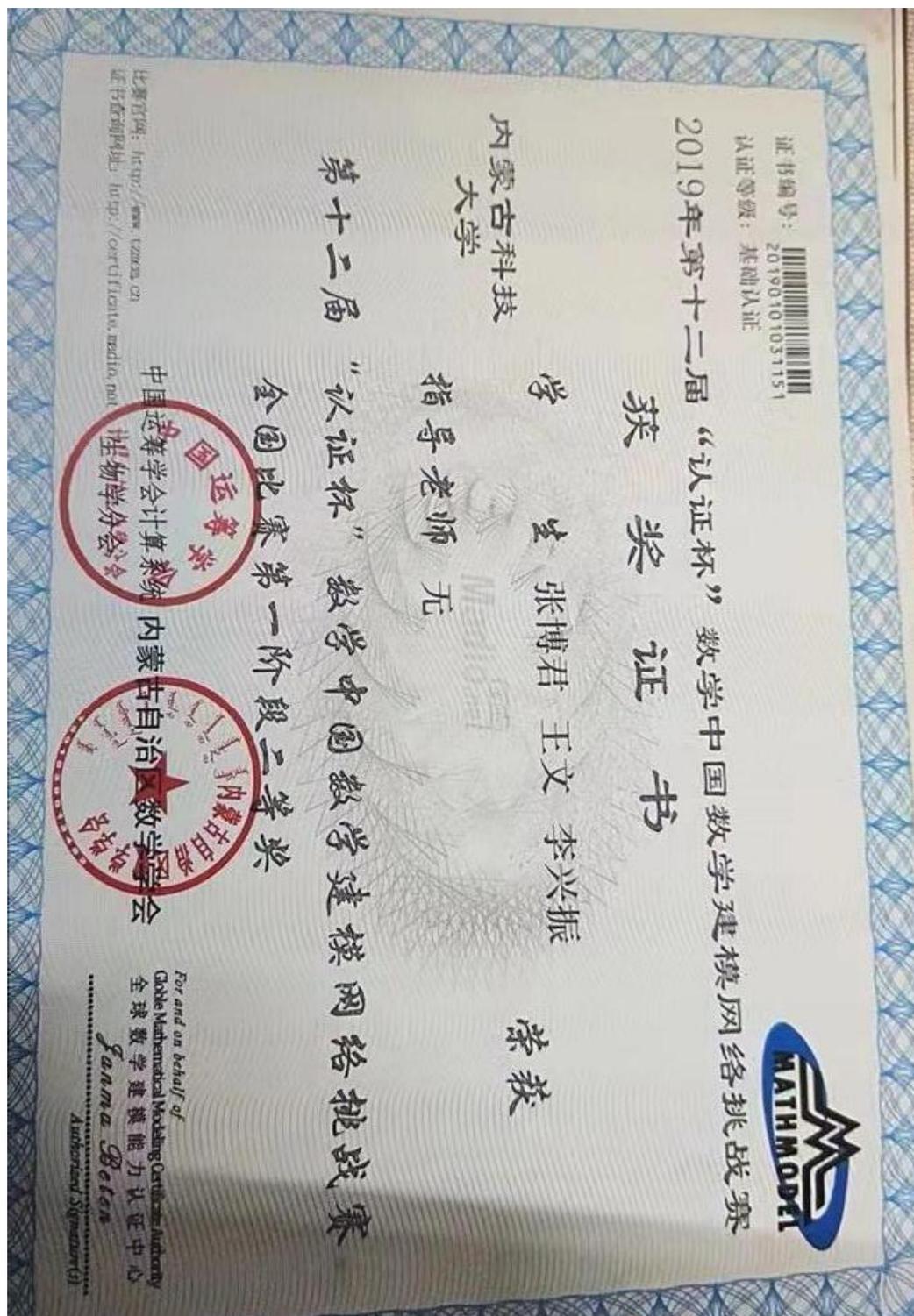
62. 2021 年数维杯大学生数学建模竞赛（王霄、郭月婷、张丽）三等奖



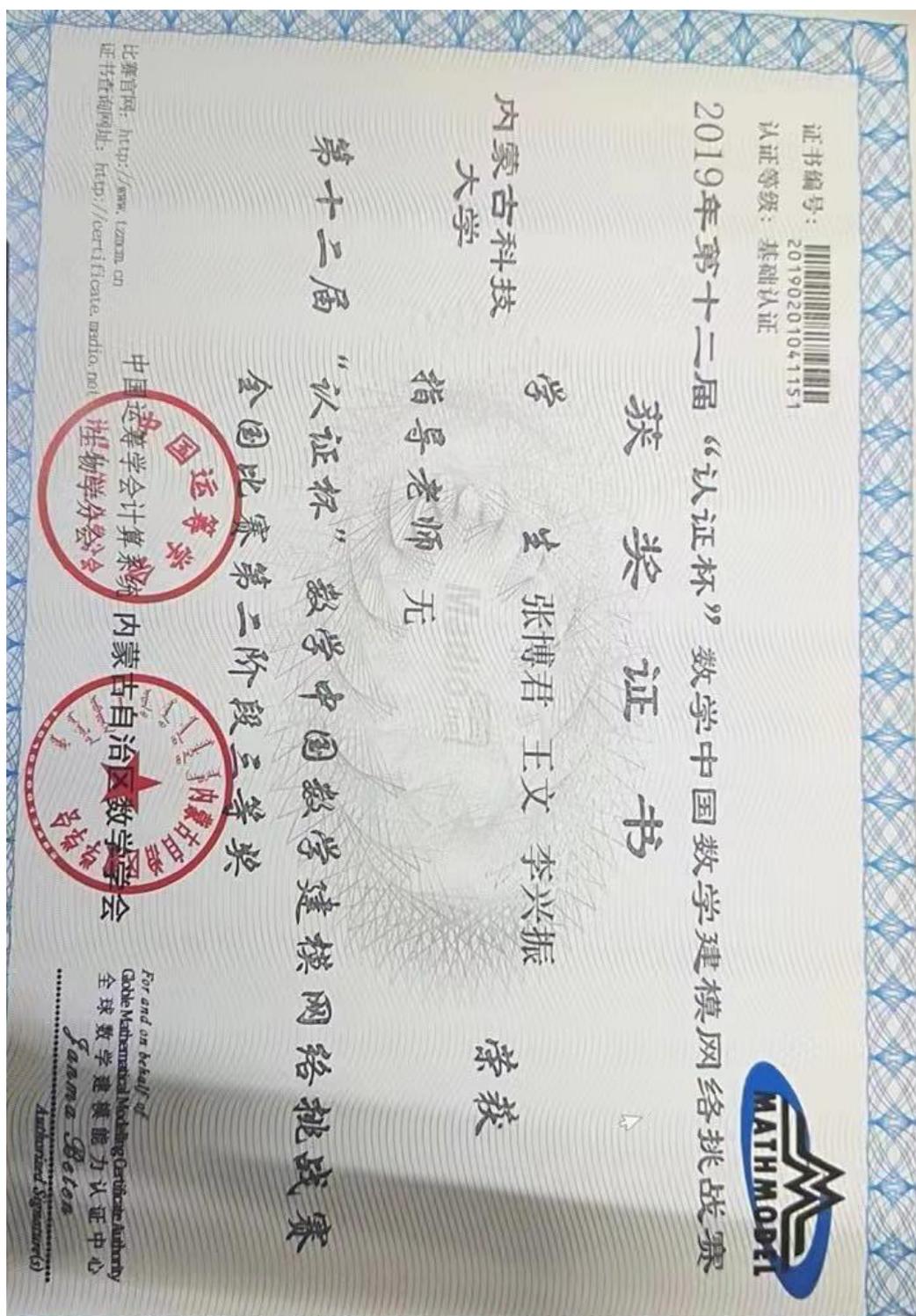
63. 2020 年内蒙古创新方法大赛大学生 TRIZ 杯专项赛（丁子琦、吴珺）优秀奖



64. 2019年第十二届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛第一阶段(张博君, 王文, 李兴振) 二等奖



65. 2019年第十二届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛第二阶段(张博君, 王文, 李兴振) 三等奖



66. 2019年全国大学生数学建模竞赛（张博君，王文，李兴振）一等奖



67. 2019 年全国大学生数学建模竞赛内蒙古赛区（吴沛泽、张凯东、樊玉春）
二等奖



68. 2019 年内蒙古自治区第四届大学生工程训练综合能力竞赛（王晋渝）三等奖



69. 2017 年全国大学生数学建模竞赛（许哲、秦晨辉、康文强）一等奖



十、学生发表论文 (35 篇)

1. 王旭辉,龚志华,宿鹏吉,齐建波,麻永林,王悄悄.镍基合金掺杂 W、Mo 原子在 γ/γ' 相界面扩散机理研究[J].原子与分子物理学报,2023,40(02):153-158.
2. 马才女,王海燕,王卓,周晓帆,谭会杰,邢磊.稀土对微合金钢奥氏体再结晶行为的影响[J].稀土,2022,43(03):139-144.
3. 梁梦斐,王海燕,王超,任慧平,高雪云.合金元素 Ni 对 Fe-Cu 合金析出过程的影响[J].稀有金属,2021,45(01):117-122.
4. 王悄悄,龚志华,李康雪.21-2N 气阀钢板材断裂失效分析[J].特钢技术, 2021, 27(03): 30-32+36.
5. 冯佃臣,况家瑾,孙学贤,袁倩,袁泽明,张羊换.FeTi 基储氢材料的研究及进展[J].稀有金属, 2021,45(03):363-371.
6. 刘笛,宋艳青,张鑫,计云萍.La 对 75Cr1 锯片用钢热轧板组织和力学性能的影响[J].热加工工艺,2021,50(14):51-53+58.
7. Zhang, X.; Zhang, M.; Li, R.; Feng, X.; Pang, X.; Rao, J.; Cong, D.; Yin, C. Active Corrosion Protection of Mg-Al Layered Double Hydroxide for Magnesium Alloys: A Short Review. Coatings 2021, 11, 1316.
8. 黄鸣,陈利超,褚倩,赵莉萍,秦晨,田志华,张慧敏.La-Ce 混合稀土对 Mg-Al-Mn 合金力学性能及耐蚀性能的影响[J].金属热处理, 2020, 45 (06): 189-193.
9. 马飞飞,周晓帆,高启新,段宝玉,杨凡,王海燕.H13 热作模具钢中晶界碳化物的形成与控制[J].内蒙古科技大学学报,2020,39(04):339-342.
10. 姚兆凤,杨凡,贺兆海,王成猛,王海燕.La 对微合金钢中奥氏体组织与析出相的影响[J].稀土,2020,41(05):137-142.
11. 杨礼林,齐建波,赵莉萍,贾永杰.稀土 Ce 对 253MA 耐热钢凝固组织及夹杂物的影响[J].金属热处理, 2020,45(01):26-30.
12. 秦晨,赵莉萍,陈利超,牛嘉兴,陈盛,姜亚君.Al 含量对含稀土 AZ 系镁合金组织及性能的影响[J].金属热处理,2020,45(03):68-72.
13. 贺兆海,马飞飞,周晓帆,谭会杰,王海燕,姚兆凤.稀土对含铌钢中 NbC 在奥氏体区析出热力学的影响[J].内蒙古科技大学学报,2020,39(01):40-42+59.
14. 宋一诺,周焱,王世荣,岑耀东,李振亮.一种制备 TEM 金属样品的便捷方法[J].金属世界,2020(03):74-76.
15. 宋一诺,王世荣,周焱,岑耀东,李振亮.研究轧制不均匀变形的创新实验方法[J].现代冶金,2020,48(01):31-33.
16. 梁梦斐,任慧平,王海燕,刘智彪,吕玉峰.冷弯 20G 钢显微组织与变形后残

- 余应力的分布规律[J].热加工工艺,2020,49(06):62-64.
17. **张桐**,赵勇桃,田志华,鲁海涛,任慧平.P92 钢单渗铝涂层与 Ni-Al 复合涂层高温抗氧化性能的对比研究[J].内蒙古科技大学学报 2020, 39(01):50-53.
 18. **李林涛**.金属材料热处理工艺与技术分析[J].中国金属通报, 2020 (01): 93+95.
 19. 袁野,石裕全,**王云海**,邵云,杜永胜.氧化铅对白云鄂博尾矿微晶玻璃析晶特性的影响[J].陶瓷,2020(01):30-38.
 20. 孙佳奕,万红,**况家瑾**,袁诚.基于焚失法的天然植物金属艺术品成形研究[J].特种铸造及有色合金,2020,40(09):1012-1015.
 21. 王权,王玉峰,**孙梦彬**,赵良忠.稀土电解炉阳极压板失效成因分析[J].稀土,2019,40(01):43-51.
 22. **沈鸿葵**.医用金属材料熔模铸造现状与展望[J].缔客世界, 2019 (2): 0276-0276
 23. 王权,王玉峰,**王供绿**.不同温度下钨金属在 NdF₃-LiF 熔盐环境中的腐蚀行为研究[J].稀土,2019,40(04):95-101.
 24. 王权,王玉峰,**赵岳林**,赵良忠,赵海营,夏云.稀土电解炉钨阴极失效原因分析[J].稀土,2019,40(05):106-111.
 25. 冯佃臣,**崔建新**,孙学贤,武星富.感应与传统加热低温回火对 45 钢管组织与性能的影响[J].热加工工艺,2019,48(02):171-174.
 26. **李林涛**.有色金属冶炼废渣中的有价金属可回收技术探讨[J].世界有色金属, 2019 (19):9+12.
 27. 田志华,赵勇桃,姜亚君,**张桐**,鲁海涛.Ni-Al 复合涂层对 P92 耐热钢高温抗氧化性的影响[J].兵器材料科学与工程,2019,42(06):24-28.
 28. 姚兆凤,王海燕,**贺兆海**,梁梦斐,阮翔.变形温度对含铌微合金钢显微组织与硬度的影响[J].内蒙古科技大学学报,2018,37(04):359-363.
 29. 王海燕,姚兆凤,**贺兆海**,刘宗昌,高雪云.Fe-RE 系合金的力学谱特征[J].稀土, 2018, 39(02):108-113.
 30. **李新乐**,许哲,范宜哲.添加稀土对 IF 钢中距表面二分之一处夹杂物的影响[J].山东工业技术,2018(02):38.
 31. 郑梦珠,王海燕,李德超,刘宗昌,**吴志峰**,邹存哲.Fe-RE 系高纯净钢的 γ - α 多型性转变[J].稀土,2017,38(04):1-6.
 32. 刘智彪,王海燕,高雪云,**吴志峰**,邹存哲.高锰钢的过冷奥氏体转变特征与强化行为研究[J].内蒙古科技大学学报,2016,35(01):47-49+58.
 33. 刘智彪,王海燕,陈树明,高雪云,**吴志峰**.热电厂给水管用含铜钢的形变析

出强化行为研究[J].内蒙古科技大学学报,2016,35(02):172-175.

34. 安小凡,王海燕,陈树明,陈林,郑梦珠,吴志峰.空气射流冷却条件下BNbRE 钢轨温度场分布[J].金属热处理,2016,41(12):173-177.

35. 赵娜娜,李振亮,刘飞,袁爱萍,贾国栋,杨苏冰.喷射沉积高 Ca 镁合金热变形行为研究[J].特种铸造及有色合金,2015,35(07):754-758.

1. 王旭辉,龚志华,宿鹏吉,齐建波,麻永林,王俏俏.镍基合金掺杂 W、Mo 原子在 γ/γ' 相界面扩散机理研究[J].原子与分子物理学报,2023,40(02):153-158.

镍基合金掺杂 W、Mo 原子在 γ/γ' 相界面扩散机理研究

王旭辉, 龚志华, 宿鹏吉, 齐建波, 麻永林, 王俏俏

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院(稀土学院), 包头 014010)

摘要: 运用基于密度泛函理论的第一性原理, 研究掺杂 W、Mo 在镍基高温合金的沉淀强化 γ 相分配差异的因素。通过 VASP 软件, 建立 $\gamma'-Ni_3(Al_{1/3}Ti_{2/3})$ 相的体系模型, 选取非等效位置的不同阵点, 计算 W、Mo 原子在不同位置的替代形成能, 分析 W、Mo 在 γ' 相的占位倾向; 计算掺杂 W、Mo 原子前后, 界面的吸附能, 研究掺杂 W、Mo 对相界的影响; 计算 W、Mo 原子从 γ 向 γ' 相扩散, 获得 W、Mo 扩散的路径与势垒。结果表明, W、Mo 的掺杂优先替代 $\gamma'-Ni_3(Al_{1/3}Ti_{2/3})$ 相 5 号 Al 原子, 并提高相界的稳定性; 分配的差异是 W 相比于 Mo 替代 γ 相位置的 Al 原子更易形成空位, 而 γ 相中的 Ni 原子较难形成空位, 且逆扩散所需能量更多导致的。

关键词: 第一性原理; 扩散; 掺杂; 界面

中图分类号: TG146.1+5 文献标识码: A DOI: 10.19855/j.1000-0364.2023.026004

Study on the diffusion mechanism of W and Mo atoms doped in Nickel base alloy at γ/γ' interface

WANG Xu-Hui, GONG Zhi-Hua, SU Peng-Ji, QI Jian-Bo, MA Yong-Lin, WANG Qiao-Qiao

(School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Based on the first principles of density functional theory, the factors for the difference of γ' phase distribution in the precipitation strengthening of W and Mo doped nickel base superalloy were studied. The system model of $\gamma'-Ni_3(Al_{1/3}Ti_{2/3})$ phase was established by VASP software, and the substitution energies of W and Mo atoms in different positions were calculated by selecting different array points in non-equivalent positions, and the occupying tendencies of W and Mo atoms in γ' phase were analyzed. The adsorption energy of the interface before and after doping W and Mo atoms were calculated, and the influences of doping W and Mo on the phase boundary were studied. The diffusion paths and potential barriers of W and Mo atoms from γ to γ' were also calculated. The results show that the doping of W or Mo preferentially replaces No. 5 Al atom in $\gamma'-Ni_3(Al_{1/3}Ti_{2/3})$ phase and improves the stability of the phase boundary. The difference in allocation is caused by the fact that W replacing Al atom in the γ' phase is more likely to form vacancies than Mo, while Ni atoms in the γ phase are more difficult to form vacancies and require more energy for reverse diffusion.

Key words: First principles; Diffusion; Doping; Interface

1 引言

进入 21 世纪, 欧美、日本相继提出了新一代先进超超临界电站建设规划, 我国在 2010 年提出

了 700 °C 先进超超临界电站的发展规划^[1,2]。当蒸汽参数达到 700 °C, 传统的 9-12Cr 系耐热钢不能满足电站关键设备及部件的性能要求, 需镍基合金替代^[3]。Waspaloy 是一种沉淀硬化型镍基

收稿日期: 2021-12-06

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2018LJH05025)

作者简介: 王旭辉(1998), 男, 硕士研究生, 山西榆次人, 研究方向: 镍基合金。E-mail: wangxuhui_2021@163.com

通讯作者: 龚志华。E-mail: gzh_2001@163.com

2. 马才女,王海燕,王卓,周晓帆,谭会杰,邢磊.稀土对微合金钢奥氏体再结晶行为的影响[J].稀土,2022,43(03):139-144.

稀土对微合金钢奥氏体再结晶行为的影响

马才女¹,王海燕^{1,2*},王卓³,周晓帆¹,谭会杰¹,邢磊¹

- (1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区新金属材料重点实验室, 内蒙古 包头 014010;
3. 河北钢铁集团有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘 要:设计了系列热模拟压缩实验,通过对热变形后的实验钢进行保温,结合理论计算,分析了等温过程稀土对奥氏体再结晶组织演变的影响规律。结果表明,随着保温时间的延长,再结晶晶粒不断粗化长大,含有稀土元素的实验钢在再结晶后期晶粒长大速度显著加快。基于变形储能和钉扎力对再结晶晶粒长大驱动力的影响分析,讨论了理论计算预测结果与实际晶粒变化情况的关系,预测分析与实验观察结果均显示,在再结晶保温初期,实验钢晶粒长大并不明显,40 s 后晶粒迅速长大,其中含有稀土的实验钢晶粒长大更为明显。

关键词:稀土;再结晶;NbC;驱动力;晶粒尺寸

中图分类号:TC142.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0277(2022)03-0139-06

近年来,随着微合金钢的不断研究和发展,提高微合金钢强度的同时如何增强其韧性已成为钢铁结构材料研究关注的主题^[1,2]。研究表明^[3-5],在微合金钢中添加微量的铌元素能够显著地细化热轧后的组织。这是由于铌元素的加入可提高再结晶温度,抑制奥氏体的再结晶,从而起到细化晶粒的作用。一方面,细小弥散的碳化铌析出相对再结晶后晶粒长大存在钉扎作用;另一方面,固溶铌原子对晶界迁移具有拖曳作用。王龙妹等^[6,7]研究表明,在钢中添加稀土元素,能够起到净化晶界,改善钢的力学性能,固溶强化,改善组织等作用,且稀土元素通过与其他微合金元素的交互作用,能够促进微合金元素的析出,进而提高合金元素的利用率。

林勤等^[8]研究发现,稀土元素可使碳化铌析出相呈细化且弥散分布,从而增强铌微合金化作用,但其作用机理有待进一步深入研究。

本文对添加稀土作用下实验钢中奥氏体再结晶组织的演变规律进行研究,同时根据再结晶平均晶粒尺寸随保温时间的变化关系,分析了稀土对微合金钢中奥氏体再结晶行为的影响规律,为稀土微合金钢的研发提供理论与实验支持。

1 实验材料及方法

实验钢 25 kg 真空感应炉中熔炼,浇注成铸锭,将铸锭经过表面处理后进行锻造,其化学成分如表 1 所示。

收稿日期:2021-02-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51961030);内蒙古自然科学基金(2019MS05013)

作者简介:马才女(1997-),女,山东巨野县人,硕士,主要从事先进高强钢的强韧化机制研究,E-mail: maain@163.com;

* 通讯作者:王海燕,教授,E-mail:windboser126@163.com

DOI:10.16533/j.cnki.15-1099/TF.20220300

3. 梁梦斐,王海燕,王超,任慧平,高雪云.合金元素 Ni 对 Fe-Cu 合金析出过程的影响[J].稀有金属,2021,45(01):117-122.

第 45 卷 第 1 期 117-122
Vol.45 No.1 117-122

稀有金属
CHINESE JOURNAL OF RARE METALS



合金元素 Ni 对 Fe-Cu 合金析出过程的影响

梁梦斐¹, 王海燕¹, 王超¹, 任慧平², 高雪云²

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 内蒙古科技大学白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 以添加 Ni 前后的 Fe-Cu 合金和 Fe-Cu-Ni 合金为研究对象, 采用金相显微镜(OM)观察了 Fe-Cu 合金与 Fe-Cu-Ni 合金时效过程中的显微组织形貌变化, 借助硬度测试分析了两种合金在等温时效过程中的硬度变化规律, 并利用透射电子显微技术(TEM)进行了两种合金的析出相精细结构观察与衍射分析, 在此基础上, 通过实验与理论分析相结合的方法, 探索了 Ni 元素的添加对含铜钢的显微组织、硬度及析出相形貌、尺寸的影响。显微形貌及硬度测试显示, Ni 元素的加入提高了钢的淬透性, 从而促进了淬火马氏体的形成, 合金的强化效果显著增强, 硬度与不添加 Ni 元素的实验钢相比有明显提高; 析出相观察发现, 含铜钢中 Ni 元素的加入加快了形核的进程, 提高了析出相颗粒的形核的速率, 促进富 Cu 相的析出, 从而细化了析出相的尺寸; 透射电子衍射分析表明, Cu 在时效过程中会发生结构演化, 逐渐形成了 bcc 结构的富 Cu 亚稳相。

关键词: Ni; Fe-Cu 合金; 析出相

doi: 10.13373/j.cnki.cjrm.XY19060023

中图分类号: TG142.1 文献标识码: A 文章编号: 0258-7076(2021)01-0117-06

对低碳微合金钢来说, Cu, Mn 和 Ni 等合金元素的加入对其力学性能、耐腐蚀性能和焊接性能都有积极的影响^[1]。强化钢的有效方法是在 α -Fe 基体中析出 Cu 颗粒, 含铜钢经时效处理后产生大量的铜沉淀, 可以显著提高钢的强度^[2,3], 随着时效时间的延长, Cu 沉淀的晶体结构会发生一系列的变化。Cu 颗粒的形核和生长对含铜钢的显微组织和力学性能起着重要的作用, 通常认为, Cu 颗粒的沉淀结构变化为 $bcc \rightarrow 9R \rightarrow 3R \rightarrow fcc$ ^[4,5], 在含铜钢基础上添加一定量的 Ni 元素, 一方面能够缓解“铜脆”带来的问题, 另一方面可以加快析出相形核、长大的过程, 从而提高钢的韧性, 特别是低温韧性, 其对含铜钢基体产生的固溶强化作用能够增加钢的屈服强度^[6,7]。近年来, Cu 析出在实验和理论上得到了广泛的研究。Shen 等^[8]利用原子探针层析技术(APT)研究了 Ni 和 Al 的加入对富 Cu 相显微组织演化的影响, 发现 Ni 和 Al 的加入有效地提高了富 Cu 颗粒的数量密度, 减小了它们的尺寸, 且尺寸分布较窄。Zhang 等^[9]发现, 在特定的热处理

工艺下, 适当地添加 Ni, Mn 元素, 含铜钢中的富 Cu 纳米相以及 Ni, Al 的金属间化合物会形成复合结构, 这种特殊的共沉淀结构使钢产生了更好的强化效果。在理论方面, Zhu 和 Zhao^[10]利用分子动力学模拟了 Fe-Cu 和 Fe-Cu-Ni 合金早期 Cu 析出, 对富 Cu 相的形成过程进行了详细的分析, 发现 Ni 的存在促进了富 Cu 相的形成, 提高了 Cu 的成核率, 增加了 Cu 颗粒的数量。王海燕等^[11]通过计算 Ni 在 bcc-Fe/ ϵ -Cu 界面不同位置的偏聚能, 探究了 Ni 对 bcc-Fe/ ϵ -Cu 界面结合的影响。根据 Rice-Wang 热力学模型的计算表明, 当 Ni 原子处于偏聚能最低的位置时, 能够强化界面的结合, 使得界面体系更加稳定。本文通过 Cu 颗粒沉淀实验研究, 结合理论分析, 研究 Ni 元素添加对含铜钢 Cu 析出过程的影响, 为实现工业化生产强度高、耐腐蚀性能良好的含铜钢提供可靠的实验依据和理论支持。

1 实验

实验用含铜钢由 50 kg 真空感应炉冶炼, 其化学成分(质量分数)如表 1 所示。

收稿日期: 2019-06-18; 修订日期: 2019-09-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51764047)资助

作者简介: 梁梦斐(1995-), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向: 金属材料工艺与性能, E-mail: liang_mengfei99@163.com; 通信

作者: 王海燕, 教授, 电话: 13284712228, E-mail: windflower126@163.com

4. 王俏俏,龚志华,李康雪.21-2N 气阀钢板材断裂失效分析[J].特钢技术, 2021, 27(03): 30-32+36.

第27卷 总第108期
2021年第3期

特钢技术
Special Steel Technology

Vol.27(108)
2021.No.3

DIO: DOI:10.16683/J.CNKLISSN1674-0971.2021.3042

21-2N气阀钢板材断裂失效分析

王俏俏 龚志华 李康雪

(内蒙古科技大学材料与冶金学院(稀土学院),内蒙古包头014010)

摘要:通过元素光谱分析、光学显微镜(OM)及扫描电子显微镜(SEM)等手段,对轧制过程中开裂的21-2N板材进行综合分析。结果表明,失效板材断口呈沿晶断裂特征,断裂后发生氧化;组织观察发现晶界有大量的网状碳化物并伴随晶界裂纹出现,判断失效原因是轧制过程中温度过低,导致晶界析出大量的网状碳化物。通过热力学计算及实验室模拟,提出21-2N终轧温度应控制到1000℃以上温度,避免晶界析出网状碳化物,从而弱化晶界,导致开裂,且轧制加热温度低于1150℃,避免晶粒粗大。

关键词:21-2N;沿晶断裂;网状碳化物;

中图分类号:TG142.1+5

文献标识码:B

文章编号:1674-0971(2021)-003-04

Fracture Failure Analysis of 21-2N Valve Steel Plate

Wang Qiaoqiao, Gong Zhihua, Li Kangxue

(Materials and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Analysis on fracture failure of 21-2N plate cracked on line was carried out by means of optical microscope (OM), scanning electron microscopy (SEM) and elemental spectrum analysis. The results showed that the fracture surface of the failed plate exhibited intergranular fracture characteristics, and oxidation occurred after fracture; a large number of network carbides and accompanying grain boundary cracks were found in the microstructure observation. The failure reason was that the temperature was too low during the rolling process, which resulted in a large amount of network precipitation on the grain boundary. Through thermodynamic calculations and laboratory simulations, it is proposed that the final rolling temperature of 21-2N should be controlled to a temperature above 1000°C to avoid the precipitation of network carbides on the grain boundaries, which weaken the grain boundaries and cause cracking. Obviously, and the center segregation index can be controlled within 1.08, which can completely meet the rolling requirement.

Keywords: 21-2N, intergranular fracture, network carbide precipitation

前言

21-2N(5Cr21Mn8Ni2N)是美国TRW公司在上世纪中研发的一种节Ni型奥氏体气阀钢。利用Mn代替Ni,并加入0.2-0.4%的N进一步稳定奥氏体,从而增加钢的硬度并降低碳化物的聚集^[1-2]。随着国内内燃机及相关行业的快速发展,对高端气阀钢的需求越来越大,21-2N,21-4N等相关品种在本世纪初相继引入国内生产。但因此类合金元素含量高,N含量也高,导致轧制变形抗力大,生产极其困难^[3-4]。国内某厂在轧制21-2N过程中,板材

在轧制线上断裂,为查明断裂原因和解决断裂问题,对断裂的板材进行失效分析。

1 检测结果及分析

1.1 成分分析

失效件为国内某特钢生产厂家提供的21-2N板材一块,规格100mm×170mm×20mm,该失效件由厂家在轧制断裂的板材上截取。本文使用Zeiss Axiovert 200MAT型金相显微镜及S-3400型扫描电镜对断口及析出相进行观察,采用LabSpark1000火花直读光谱仪对板材成分进行分析^[5]。

收稿日期:2021-06-03

作者简介:王俏俏(2000-),2019年9月就读于内蒙古科技大学无机非金属材料工程专业,学生,主要从事热钢方面研究,邮箱:1251002093@qq.com。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5. 冯佃臣,况家瑾,孙学贤,袁倩,袁泽明,张羊换.FeTi 基储氢材料的研究及进展[J].稀有金属, 2021,45(03):363-371.

第 45 卷 第 3 期 363-371
Vol.45 No.3 363-371

稀有金属
CHINESE JOURNAL OF RARE METALS



FeTi 基储氢材料的研究及进展

冯佃臣¹, 况家瑾¹, 孙学贤², 袁倩¹, 袁泽明¹, 张羊换¹

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 山东坤能环保科技有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 氢能具有资源丰富、能量高、清洁环保等优点, 被视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源。很多国家和地区都对它进行了大量的研究, 使其充分利用并发挥其性能。而对于氢能储运是氢能充分利用的关键。现今有很多的学者研究优异的储氢材料来提高氢能的储存效率。而其中 FeTi 系合金是一种良好的储氢材料。FeTi 系合金中的元素在自然中含量丰富价格低廉, 并且 FeTi 系合金作为储氢材料具有吸放氢温度低等优点, 因此它被认为是具有很大应用前景的储氢材料。但 FeTi 基储氢材料也存在一些问题如: 活化困难、容易与合金中的很多杂质元素及空气作用中毒而使活性丧失等, 这些问题都会制约 FeTi 基储氢材料的发展。本文就目前一些学者通过掺入合金元素(如 Zr、V、Mo 等)、机械变形和热处理等手段改善 FeTi 基合金的储氢性能的研究工作进行了总结, 并针对 FeTi 基合金存在的这些问题, 提出了防止其与一些杂质元素作用而活性丧失以及改善其储氢材料性能的建议。为储氢材料领域的研究提供参考。

关键词: 储氢材料; FeTi 基合金; 研究进展; 活化性能

doi: 10.13373/j.cnki.cjrm.XY20010013

中图分类号: TG146.4 文献标识码: A 文章编号: 0258-7076(2021)03-0363-09

随着工业的发展和物质生活水平的提高, 人类对能源的需求也与日俱增。近年来, 能源的消耗主要来自于化石燃料, 如煤炭、石油和天然气等, 但化石燃料不仅储备有限, 而且还会造成环境污染。因此, 迫切地需要一种新型的绿色清洁能源来取代化石燃料。氢能作为一种绿色清洁能源, 其不仅储量丰富、来源广泛, 而且质量能量密度高 ($142 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)。故此, 氢能被广泛应用于燃料电池汽车、氢能发电、氢能供暖等诸多领域。氢能的规模化应用包括氢的制取、储运、应用, 但由于氢易燃、易爆, 体积能量密度低等特点, 氢的储运成为制约氢规模化应用的瓶颈。因此, 迫切需要一种高能量密度、高安全性的储氢材料。所以, 对储氢材料的研究, 既要提高其氢存储的安全性, 也要提高其储氢的能量密度。

在众多的储氢合金中, FeTi 基合金不仅能够室温下可逆吸收大量的氢气, 而且具有优秀的吸放氢动力学性能。另外, 其资源丰富, 价格低廉, 并适用于大规模的生产, 是当今最接近实用化的储氢材料, 具有很可观的发展前景。但是, FeTi

基合金也存在着活化困难的缺点, 需要在高温高压的条件下才能活化, 而且活化后的合金, 在氧气、一氧化碳、水等环境下容易中毒, 再次失去活性^[1], 这严重地制约了 FeTi 基储氢合金的广泛应用。因此, 如何解决活化问题成为提高 FeTi 基储氢材料性能的关键。

1 FeTi 基储氢材料存在的问题

1.1 活化困难

FeTi 基储氢材料的活化需要在高温高压的条件下, 经过多次的活化才能完成, 比较困难。由于在反应过程中 Fe 与氧的结合力没有 Ti 与氧的结合力大, 所以在表面优先生成了 TiO_2 。此 TiO_2 致密层地堆积, 导致氢原子难以与主相 TiFe 相发生氢化反应, 合金活化困难^[2]。Ti 具有很强的吸附性, 将其 O_2 、 CO_2 等气体聚集在合金表面, 降低了合金表面氢分子离解能, 使氢分子的离解成为了制约合金吸氢的因素, 因此导致活化困难^[3]。此未改性的 FeTi 基合金通常需要在 673 K 以上高温和 67 MPa 的高压下才能完成活化^[4-6]。这在实际操作过程

收稿日期: 2020-01-14; 修订日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(5190115, 51871125, 51761032); 内蒙古自然科学基金项目(2020MS05073, 219BS05005); 内蒙古科技大学校内基金项目(2019Q04-B111)资助

作者简介: 冯佃臣(1977-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 博士, 副教授, 研究方向: 储氢材料、金属腐蚀与防护、金属热处理, 电话: 0472-5951572, E-mail: fd-21@imust.cn

363

6. 刘笛,宋艳青,张鑫,计云萍.La对75Cr1锯片用钢热轧板组织和力学性能的影响[J].热加工工艺,2021,50(14):51-53+58.

《热加工工艺》2021年7月第50卷第14期

La对75Cr1锯片用钢热轧板组织和力学性能的影响

刘笛¹,宋艳青²,张鑫¹,计云萍¹

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 研研亿全新材料有限公司, 北京 102200)

摘要:针对未加稀土和添加微量稀土La的75Cr1锯片用钢,采用洛氏硬度计、电子万能试验机和电子式摆锤冲击试验机测定热轧板的力学性能,采用扫描电镜观察热轧板的显微组织和断口形貌,分析稀土La对其显微组织和力学性能的影响。结果表明,在满足国标要求的前提下,微量稀土La减少了75Cr1锯片用钢热轧板显微组织中先共析铁素体的量,细化了珠光体的片间距,改善了拉伸和室温冲击断口形貌,进而使强度、硬度提高,并使塑性和韧性得到显著改善。

关键词:75Cr1;锯片用钢;热轧;珠光体;力学性能

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.20173353

中图分类号: TG113.12

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2021)14-0051-03

Effect of La on Microstructure and Mechanical Properties of 75Cr1 Saw Blade Steel

LIU Di, SONG Yanqing, ZHANG Xin, JI Yunping

(1. School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Grikim Advanced Materials Co. Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: The Rockwell hardness tester, electronic universal testing machine and electronic pendulum impact testing machine were utilized to measure the mechanical properties of the hot-rolled plates of 75Cr1 saw blade steel without and with the trace amount of rare earth La. The scanning electron microscope was used to observe the microstructure and the fracture morphologies of the hot-rolled plates. The effects of rare earth La on the microstructure and the mechanical properties were discussed. The results show that under the condition of meeting the national standard, the trace amount of La can reduce the amount of pro-eutectoid ferrite in the microstructure of 75Cr1 saw blade steel hot-rolled steel, refine the interlamellar spacing of the pearlite and improve the fracture morphologies of the tensile and room-temperature impact samples. So the strength and the hardness of the hot-rolled plates of 75Cr1 saw blade steel with La increase and the plasticity and the impact toughness improve greatly.

Key words: 75Cr1; saw blade steel, hot rolling; pearlite; mechanical properties

75Cr1钢属于高碳低合金工具钢,是高端锯片基体用钢,被广泛应用于制造石材、建筑和机械制造等行业用锯片,既可生产金刚石锯片基体、硬质合金锯片基体,也可生产金属冷切和热切圆锯片^[1]。但因其C、Mn、Cr含量较高,且具有过热敏感性,铸坯表面裂纹敏感性高,内部质量难以控制,生产难度较大。

由于普通的冷轧生产线难以对高碳合金钢75Cr1进行直接加工,热轧生产便成为各企业采取的主要方式^[2]。目前,国产75Cr1锯片用钢与德国、日本、韩国等企业生产的高品质产品在使用性能上有较大差距,但国内市场需求缺口严重,高品质的75Cr1锯片用钢主要依靠进口^[3]。因此,提高75Cr1锯片用钢的使用性能对提高市场竞争力意义非常重大。我国有丰富的稀土资源优势,已有研究表明,添加稀土能提高高碳合金钢的耐磨性和冲击韧性,并在轴承钢、重轨钢、高速钢等钢中得到良好应用^[4]。但有关稀土在75Cr1锯片用钢中的研究还鲜有报道。本文针对75Cr1锯片用钢,通过添加微量稀土La,研究稀土La对其热轧板显微组织和力学性能的影响,以为提高75Cr1锯片用钢的综合力学性能进而提升其使用

收稿日期:2017-11-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51261018);内蒙古科技大学大学生科技创新基金项目(2016048)

作者简介:刘笛(1997-),女,辽宁葫芦岛人,电话:15847255464;

E-mail:854411628@qq.com

通讯作者:计云萍(1972-),女,内蒙古察右中旗人,教授,主要从事高性能高碳合金材料组织结构研究、稀土在钢中应用的基础研究和金属固态相变的研究,电话:0472-5951572;
E-mail:jiyunpingpp@163.com

7. Zhang, X.; Zhang, M.; Li, R.; Feng, X.; Pang, X.; Rao, J.; Cong, D.; Yin, C. Active Corrosion Protection of Mg–Al Layered Double Hydroxide for Magnesium Alloys: A Short Review. *Coatings* 2021, 11, 1316.



Review

Active Corrosion Protection of Mg–Al Layered Double Hydroxide for Magnesium Alloys: A Short Review

Xinfang Zhang ^{1,2}, Min Zhang ^{3,*}, Ruihong Li ^{2,*}, Xiaoyan Feng ², Xue Pang ², Jinsong Rao ¹, Dalong Cong ², Changqing Yin ¹ and Yuxin Zhang ^{1,*}

¹ College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 202109021146@cq.cqu.edu.cn (X.Z.); rjs@cqu.edu.cn (J.R.); CotsacY@163.com (C.Y.)

² School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; fengxy411@163.com (X.F.); pangxue1520@163.com (X.P.)

³ Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China; congdl09@163.com

* Correspondence: zhmcq59@163.com (M.Z.); liruihong@imust.edu.cn (R.L.); zhangyuxin@cqu.edu.cn (Y.Z.)

Abstract: Layered double hydroxides (LDHs) have been successfully applied in surface protection and functionalization of metal materials owing to their special structure, composition, controllability, anion exchange, and other excellent properties. Herein, this review focused on the most common LDH preparation methods on magnesium alloys in the past 10 years by summarizing about 70 research papers. At the same time, based on the corrosion protection mechanism of LDH materials, the performance of LDH films and LDH as filler on metal substrates was briefly introduced. The surface of LDH materials were chemically modified to enhance their compatibility with solvents, and their corrosion resistance function was developed as an additive. Finally, LDH-based composite coatings on Mg alloys by surface pretreatment and chemical modification were discussed.

Keywords: layered double hydroxides; magnesium alloy; corrosion protection; composite coating

Citation: Zhang, X.; Zhang, M.; Li,

R.; Feng, X.; Pang, X.; Rao, J.; Cong, D.; Yin, C. Active Corrosion

Protection of Mg–Al Layered Double Hydroxide for Magnesium Alloys: A Short Review. *Coatings* 2021, 11, 1316. <https://doi.org/10.3390/coatings11111316>

Academic Editor: Pier Luigi Bonora

Received: 25 September 2021

Accepted: 26 October 2021

Published: 28 October 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Magnesium (Mg) and its alloys, known as the lightest metal structural materials, are widely applied in the computer, electronics, automotive, and aerospace industries due to their advantages (including their low specific gravity, high specific strength and stiffness, processing, and recycling) [1–3]. The overall weight of a car is reduced by 10% and the fuel is economized by about 20%–30% with no significant design changes through using magnesium alloys [4]. In addition, the elastic modulus of magnesium alloys is similar to that of the human skeleton, which can relieve external stress and represent the major component of artificial skeletons. Therefore, as a medical material, magnesium alloys are ideal materials for cartilage repair and metal implantation [5,6]. Although magnesium alloys have many excellent properties, their inferior corrosion resistance due to the low standard potential (−2.36 V) limits their further development and extensive applications [7]. Hence, research on corrosion resistance of magnesium alloys is an important topic for their wide application. In the past few decades, plenty of approaches have been used to combat the corrosion of Mg alloys including alloying, improved heat treatment process, and advanced surface treatment technology. Among them, surface treatment technology is the most extensive and effective method, including chemical conversion coatings, polymer coatings, micro-arc oxidation (MAO), layer-by-layer film, and LDH coatings.

In recent years, LDHs have gained a key position not only due to environmentally friendly and low cost but more importantly due to their high anionic exchange capability [8]. As a result, intercalated materials have shown broad application prospects as corrosion resistant coatings.

8. 黄鸣,陈利超,褚倩,赵莉萍,秦晨,田志华,张慧敏.La-Ce 混合稀土对 Mg-Al-Mn 合金力学性能及耐蚀性能的影响[J].金属热处理, 2020, 45 (06): 189-193.

La-Ce 混合稀土对 Mg-Al-Mn 合金力学性能及耐蚀性能的影响

黄鸣, 陈利超, 褚倩, 赵莉萍, 秦晨, 田志华, 张慧敏

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要:研究了 La-Ce 混合稀土对 Mg-Al-Mn 合金组织形貌、力学性能及耐蚀性的影响。采用 T-1200GB 坩埚炉冶炼稀土含量(质量分数)分别为 4.63%、5.81%、6.18% 的 Mg-Al-Mn 合金。在箱式电阻炉中对研究试样进行 430 °C 保温 24 h 的固溶处理, 然后进行 200 °C 保温 24 h 时效处理。对不同热处理状态的试样进行组织观察, 对固溶时效后的试样进行拉伸、硬度及盐雾腐蚀试验, 从而分析 La-Ce 混合稀土对 Mg-Al-Mn 合金显微组织、力学性能及耐蚀性的影响。研究表明, 随着合金中的 La-Ce 混合稀土含量的增加, Mg₁₇Al₁₂ 相逐渐被 Al₃(La, Ce) 相代替; 硬度、抗拉强度和伸长率都逐渐减小, 力学性能下降; 合金的腐蚀速率逐渐下降, 耐蚀性提高。

关键词: Mg-Al-Mn 镁合金; La-Ce 混合稀土; 组织; 力学性能; 耐蚀性

中图分类号: TG146.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2020)06-0189-05

Effect of La-Ce mixed rare earth on mechanical properties and corrosion resistance of Mg-Al-Mn alloy

Huang Ming, Chen Lichao, Chu Qian, Zhao Liping, Qin Chen, Tian Zhilua, Zhang Huimin

(School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: Effect of La-Ce mixed rare earths on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of Mg-Al-Mn alloys were investigated. The Mg-Al-Mn alloys with rare earth content (mass fraction) of 4.63%, 5.81% and 6.18% respectively were smelted in a T-1200GB crucible furnace. The specimens were solution treated at 430 °C for 24 h in a box-type resistance furnace, and then aged at 200 °C for 24 h. The microstructure of the specimens in different heat treatment states were observed, the tensile, hardness and salt spray corrosion tests were carried out on the specimens after solution treatment and aging. The effects of mixed rare earth on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of the alloys were analyzed. The results show that with the increase of La-Ce mixed rare earth content in the alloy, the Mg₁₇Al₁₂ phase is gradually replaced by the Al₃(La, Ce) phase; the hardness, tensile strength and elongation are gradually reduced, and the mechanical properties are decreased; the corrosion rate of the alloy is gradually decreased and the corrosion resistance is improved.

Keywords: Mg-Al-Mn magnesium alloy; La-Ce mixed rare earth; microstructure; mechanical properties; corrosion resistance

收稿日期: 2019-12-18

基金项目: 内蒙古科技大学大学生科技创业创新基金(2017029)

作者简介: 黄鸣(1998—), 男, 主要研究方向为镁合金组织结构, E-mail: 939679897@qq.com; 通讯作者: 赵莉萍, 教授, 硕士, E-mail: zhaoliping5195@126.com

DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2020.06.039

[5] Zhang Y, Zuo T T, Tang Z, et al. Microstructures and properties of high-entropy alloys [J]. Progress in Materials Science, 2014, 61(8): 1-49.

[6] Zhang Y, Zuo T T, Cheng Y Q, et al. High-entropy alloys with high saturation magnetization, electrical resistivity, and malleability [J]. Scientific Reports, 2013, 3: 1455.

[7] 张勇. 非晶和高熵合金[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[8] Tsai K Y, Tsai M H, Yeh J W. Sluggish diffusion in Co-Cr-Fe-Mn-Ni high-entropy alloys [J]. Acta Materialia, 2013, 61: 4887-4897.

[9] Tsai M H, Yeh J W, Gan J Y. Diffusion barrier properties of AlMoNiSiTiVZr high-entropy alloy layer between copper and silicon [J]. Thin Solid Films, 2008, 516(16): 5527-5530.

[10] 陶文静. 高熵合金 CoCrCuFeNi 中元素扩散规律的研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2018.
Tao Wenjing. A study on diffusion of atoms in CoCrCuFeNi high

近年来,随着保护环境的呼声越来越高,汽车制造商对于使用新型轻质合金的需求越来越迫切,所以稀土(Rare earth, 简称 RE) 镁合金成为研究的一大热点。与传统的 Mg-Al 合金和 Mg-Zn 合金相比稀土镁合金系成为另一个越来越受到重视的镁合金系,在工业发展

entropy alloy [D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2018.

[11] 陶文静, 张伟强, 付华蔚. Cu 和 Ni 元素在高熵合金 CoCrCuFeNi 中的扩散行为[J]. 材料热处理学报, 2017, 38(11): 34-39.

Tao Wenjing, Zhang Weiqiang, Fu Huawei. Diffusion behavior of Cu and Ni atoms in CoCrCuFeNi high entropy alloy [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2017, 38(11): 34-39.

[12] 刘玉林, 罗永春, 赵月, 等. 高熵合金(CoCrFeMnNi) /铜真空扩散连接的界面行为及接头性能研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(2): 84-91.

Liu Yulin, Luo Yongchun, Zhao Yue, et al. Interfacial behavior and joint properties of high entropy alloy (CoCrFeMnNi) /copper vacuum diffusion bonding [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(2): 84-91.

[13] 张伟强. 固态金属及合金中的相变[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.

9. 马飞飞,周晓帆,高启新,段宝玉,杨凡,王海燕.H13 热作模具钢中晶界碳化物的形成与控制[J].内蒙古科技大学学报,2020,39(04):339-342.

H13 热作模具钢中晶界碳化物的形成与控制^{*}

马飞飞¹,周晓帆¹,高启新¹,段宝玉²,杨凡¹,王海燕¹

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010; 2. 内蒙古科技大学 分析测试中心,内蒙古 包头 014010)

摘要:热作模具钢中晶界碳化物的分布形态对其力学性能具有重要影响。通过设计不同热处理工艺,对 H13 实验钢的基体组织和晶界碳化物进行显微组织观察与分析,探究 H13 钢晶界网状碳化物的形成原因。实验结果表明,在预设的 2 种热处理工艺下,实验钢经奥氏体化并炉冷至 A₁ 附近不同温度后,晶内和晶界碳化物分布情况不同。在此基础上,分析了基体组织形态与网状碳化物的形成与分布规律,提出了 H13 钢力学性能的影响因素及控制措施。

关键词: H13 钢; 基体组织; 碳化物

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** A

文章编号: 2095-2295(2020)04-0339-04

DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2020.04.008

热作模具钢常在高温条件下使用,尤其是常常用来制作热锻模具、压铸模具和热挤压模具等,其在工作时除了承受高温载荷外,还要承受急热急冷的服役环境。通常需要保证钢材具有良好的强度、硬度、韧性和抗冷热疲劳性等。作为热作模具的典型钢种,H13 钢具有较高的经济性和在高温工况下优良的综合性能,因而受到研究者广泛关注^[1-3],为增强 H13 热作模具钢的耐磨性,研究者们做了大量研究,目前,低 Si 高 Mo 的合金化与加入 Nb 的合金化途径成为主要趋势^[4-6],在成分设计上满足 H13 钢对于红硬性、高强韧性,适合硬度的要求,配以合适的热处理工艺,从而获得细小均匀的基体组织,以及弥散分布的球状碳化物。由于 H13 钢中细小均匀的碳化物有析出强化和细晶强化的作用,而形成网状碳化物的尺寸、形貌以及数量等因素影响 H13 钢的使用寿命,因此,避免形成网状碳化物对热作模具钢的性能至关重要^[7,8]。

将针对性地制定 2 种热处理工艺,采用光学显微镜观察实验钢金相组织,利用扫描电子显微镜分析晶界处碳化物分布状态以及析出位置,并分析晶界网状碳化物的形成原因。

1 实验材料与方法

实验材料为 H13 钢,其化学成分(质量分数,%) : C: 0.32 ~ 0.45; Si: 0.80 ~ 1.20; Mn: 0.20 ~ 0.50; Cr: 4.75 ~ 5.50; Mo: 1.10 ~ 1.75; V: 0.80 ~ 1.20。将实验钢加热到 1 050 °C 后,保温 1.5 h 充分奥氏体化后,关闭热处理炉,然后 1 号样在炉内随炉冷至 600 °C 时取出空冷,2 号试样随炉冷至 800 °C 时取出空冷,根据热处理工艺不同,分别编号为 1 号钢和 2 号钢。将 2 种实验钢加工成 10 mm × 10 mm × 10 mm 的试样,经研磨与抛光后,用 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀,在光学显微镜下观察其金相组织,利用扫描电子显微镜分析碳化物分布情况,并对晶界网状碳化物的形成原因进行分析。

2 实验结果与分析

图 1 为实验钢退火态的金相组织图。可以看出,基体晶粒大小不一,组织不均匀,颜色较黑位置为碳化物聚集区域,碳化物数量较多,尺寸细小,浅色区域为贫碳区。基体中的碳化物以退火态球状碳化物均匀分布,晶界处的碳化物以球状碳化物独立

^{*} 基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2018MS05038); 内蒙古自治区科技计划基金资助项目(201803005)。

作者简介: 马飞飞(1994-),男,内蒙古科技大硕士研究生,研究方向为先进高强钢(AHSS)的研究。

通信作者: e-mail: windflower126@163.com

收稿日期: 2020-02-04

10. 姚兆凤,杨凡,贺兆海,王成猛,王海燕.La 对微合金钢中奥氏体组织与析出相的影响[J].稀土,2020,41(05):137-142.

La 对微合金钢中奥氏体组织与析出相的影响

姚兆凤¹, 杨 凡¹, 贺兆海¹, 王成猛¹, 王海燕^{1,2}

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古自治区白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:以添加 La 和未添加 La 的 Nb-Ti 微合金钢为研究对象,利用金相显微镜分析了加热过程中奥氏体晶粒的长大情况,采用 Gleeble-1500D 型热模拟机进行热变形实验,在透射电镜下进行析出相形貌观察与能谱分析,并结合硬度测试结果,探究了 La 对实验钢中奥氏体组织与析出相的影响。结果表明,随着保温时间的增加,奥氏体晶粒逐渐长大,添加 La 的实验钢奥氏体晶粒长大较快,显微硬度较低。变形过程中,含 La 实验钢在奥氏体区的碳化物析出相得到了细化,析出物数量减少。

关键词:La; Nb-Ti 微合金钢; 奥氏体组织; 析出相

中图分类号:TC142.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4277(2020)05-0137-06

Nb-Ti 微合金钢由于具有高强度、高韧性、焊接性能优良、耐大气腐蚀等特点,在汽车钢、高强管线钢、工程结构钢、建筑用钢、船板与海洋平台钢等领域得到了广泛的应用^[1,2]。通过添加 Nb、Ti 等微合金元素,在钢中产生固溶强化、细晶强化以及析出强化等作用,从而提高微合金钢的综合性能^[3,4]。稀土元素因其外层电子结构比较独特,具有很强的化学活性,且价态可变、原子尺寸大,在钢的深度净化、夹杂物的变质和生产高附加值钢铁材料等方面作出了很大贡献^[5-8]。研究表明^[9],稀土对于微合金钢中铌碳氮化物的溶解与析出具有重要影响,然而,其作用机理还缺乏系统研究,相关理论还有待

进一步补充,要充分发挥稀土在钢中的微合金化作用,仍需大量的实验数据与理论支持。

本文将以不含稀土与含稀土 Nb-Ti 微合金钢为研究对象,分析实验钢在奥氏体化过程中的晶粒长大行为,并通过热变形后析出相形貌观察和能谱分析,结合测定的硬度值,探究稀土 La 对 Nb-Ti 微合金钢中奥氏体晶粒长大行为与碳化物析出规律的影响,为稀土微合金钢的研究提供理论与实验支持。

1 试验材料及方法

试验钢为河北钢研总院 50 kg 真空感应炉中炼制的 Nb-Ti 微合金钢。同时,炼制未添加 La 的 Nb-

收稿日期:2018-09-17

基金项目:国家自然科学基金(51961030);内蒙古自然科学基金(2019MS05013, 2018MS05038)

作者简介:姚兆凤(1992-),女,安徽桐城,汉族,硕士研究生,主要从事优秀资源先进金属材料研究与开发, E-mail: zhangs12@126.com;

通讯作者:王海燕,博士,教授, E-mail: windflower126@163.com

©DOI:10.16333/j.cnki.15-4090/TF.202005014 Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

11. 杨礼林,齐建波,赵莉萍,贾永杰,稀土 Ce 对 253MA 耐热钢凝固组织及夹杂物的影响[J].金属热处理, 2020,45(01):26-30.

稀土 Ce 对 253MA 耐热钢凝固组织及夹杂物的影响

杨礼林^{1,2}, 齐建波^{1,2}, 赵莉萍^{1,2}, 贾永杰²

(1. 内蒙古自治区新金属材料重点实验室, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 采用激光共聚焦显微镜、场发射扫描电镜(SEM)和电子背散射衍射(EBSD)等设备,对含稀土 Ce 的耐热钢 253MA 连铸坯的凝固组织及夹杂物的形貌、成分和结构进行表征分析。结果表明:比较两种含稀土 Ce 耐热钢的凝固组织,稀土 Ce 有增大凝固组织等轴晶率、细化柱状晶的作用;稀土 Ce 夹杂物主要相结构为 CeO₂ 和 (CeO)₂SO₄,呈细小、近球形弥散分布;对夹杂物进行统计和评级,发现稀土 Ce 含量的增加有利于 D 类球形夹杂物增多,有助于提高耐热钢的耐高温、抗氧化性能。

关键词: 稀土 Ce; 耐热钢 253MA; 凝固组织; 夹杂物

中图分类号: TG142.13 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2020)01-0026-05

Effect of rare earth Ce on solidification structure and inclusions of 253MA heat-resistant steel

Yang Lilin^{1,2}, Qi Jianbo^{1,2}, Zhao Liping^{1,2}, Jia Yongjie²

(1. Inner Mongolia Key Laboratory of New Metal Material, Baotou Inner Mongolia 014010, China;

2. School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: The solidification structure and the morphology, composition and structure of inclusions of 253MA steel with different content of rare earth Ce were characterized and analyzed by confocal laser scanning microscope, field emission scanning electron microscopy (FESEM) and electron backscatter diffraction (EBSD). The results show that by comparing the solidification structures of two specimens, the equiaxial grain rate and columnar crystal refining effect can be promoted by the addition of cerium. The rare earth inclusions are CeO₂ and (CeO)₂SO₄, which have fine and near-spherical dispersion distributions. It is found according to the statistical analysis and grading that the increase of rare earth Ce content is beneficial to the increase of D-type spherical inclusions, which helps to improve the high temperature resistance and oxidation resistance of the 253MA steel.

Keywords: rare earth Ce; heat-resistant steel 253MA; solidification structure; inclusion

奥氏体耐热钢 253MA 常用于高温锅炉和压力容器,在急冷急热的循环条件下具有良好的抵抗热变形能力,其表面的氧化皮致密、结合牢固不易脱落。和 310S 耐热钢(25%Cr,20%Ni)具有同样良好的抗氧化性和高温蠕变性能,使用温度可达 830~1100℃,具有更高的经济性^[1-3]。

耐热钢的抗氧化性和热疲劳性能,不仅取决于钢的化学成分、组织结构,其内部夹杂物的形状、结构导致热膨胀系数差异对耐热性能有显著影响。如破坏基体的连续性,降低钢的塑性、韧性、疲劳强度和耐腐蚀能力^[4-6],因此在冶炼和铸造过程中控制夹杂物的数量和尺寸对获得高品质钢材具有重要作用。

稀土 Ce 具有独特的 4f 电子层结构,有很强的化

学活性,研究发现其在钢的冶炼和铸造过程中具有净化钢液、变性夹杂和微合金化等作用,有利于提高钢的成形性及低温韧性、高温强度、焊接性及耐腐蚀性等^[6-9]。内蒙古科技大学杨吉春、东北大学李阳和北京科技大学刘靖等^[8-10]研究报道,稀土元素和钢中的杂质元素反应生成细小的高熔点夹杂物,主要以稀土氧化物和硫化物弥散分布于钢液中成为异质形核的核心,增加了形核率,细化钢的凝固组织,增大了等轴晶比例。另外微量 Ce 固溶增加晶格畸变,可增大结晶驱动力,降低再结晶温度。

虽然利用稀土对钢液的净化和改性夹杂作用的研究较多^[10-13],但对稀土 Ce 在耐热钢的凝固组织和夹杂的形态及分布的深入研究较少,因此本文以 253MA 耐热钢为对象,通过对凝固组织及夹杂物进行显微观察、统计分析,研究了微量稀土 Ce 对凝固组织及夹杂物的影响。

1 试验材料与方法

试验用材料为国内某钢铁公司生产的连铸钢锭

收稿日期:2019-06-17

基金项目:内蒙古科技大学创新基金(2016QDL-B18)

作者简介:杨礼林(1981—),男,讲师,博士,主要从事金属材料方向研究,发表论文 6 篇,E-mail: yanglilin@163.com

DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2020.01.006

12. 秦晨,赵莉萍,陈利超,牛嘉兴,陈盛,姜亚君.A1含量对含稀土AZ系镁合金组织及性能的影响[J].金属热处理,2020,45(03):68-72.

第45卷 第3期
2020年 3月

金属热处理
HEAT TREATMENT OF METALS

Vol. 45 No. 3
March 2020

Al含量对含稀土AZ系镁合金组织及性能的影响

秦晨, 赵莉萍, 陈利超, 牛嘉兴, 陈盛, 姜亚君

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古包头 014010)

摘要:以含稀土AZ系镁合金为基,制备了铝含量分别为5%、7%、9%的合金试样,并对其进行处理435℃×24h固溶+200℃×24h时效处理,对试样的铸态、固溶态和时效态的显微组织进行了观察,随后测定了试样时效后的力学性能以及耐蚀性能。结果表明,铸态镁合金组织主要为 α -Mg+ β -Mg₁₇Al₁₂+Al₁₁(La,Ce)₃和(La,Ce)Al₂;随着Al含量的增加, β -Mg₁₇Al₁₂和稀土化合物相增多,晶粒细化。固溶处理后,组织中的 β -Mg₁₇Al₁₂相会逐渐溶解,随着Al含量的增多,溶解将会不完全,未溶的强化相 β -Mg₁₇Al₁₂和稀土化合物相弥散分布在晶界及其附近处。时效处理后,随着Al含量的增加,组织中继续析出的 β -Mg₁₇Al₁₂相增多,稀土化合物相尺寸细化。随着Al元素的增多,试样的抗拉强度和硬度逐渐增大,塑性则愈来愈差,耐腐蚀性越来越好。

关键词:AZ系镁合金;Al含量;显微组织;力学性能;耐腐蚀性

中图分类号:TG146.6 **文献标志码:**A **文章编号:**0254-6051(2020)03-0068-05

Effect of Al content on microstructure and properties of AZ series magnesium alloy containing rare earth

Qin Chen, Zhao Liping, Chen Lichao, Niu Jiaxing, Chen Sheng, Jiang Yajun

(School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: Taking the AZ series magnesium alloy containing rare earth as the base alloy, specimens with 5%, 7% and 9% Al were prepared, and solution treatment at 435 °C for 24 h + aging at 200 °C for 24 h was carried out. Then the microstructures of as-cast, solid solution treated and aged specimens were observed, the mechanical properties and corrosion resistance of the specimens after aging were measured. The results show that the as-cast microstructure of the specimens is mainly α -Mg + β -Mg₁₇Al₁₂ + Al₁₁(La, Ce)₃ and (La, Ce)Al₂. With the increase of Al content, the β -Mg₁₇Al₁₂ phase and rare earth compounds increase, and the grain refinement is achieved. After solution treatment, the β -Mg₁₇Al₁₂ phase in the microstructure gradually dissolves, the dissolution becomes uncompleted with the increase of Al content, and the undissolved strengthening phase β -Mg₁₇Al₁₂ and the rare earth compound phase disperse in and near the grain boundary. After aging treatment and with the increase of Al content, β -Mg₁₇Al₁₂ phase continues to precipitate and increases in the microstructure, and the size of rare earth compound phase is refined. With the increase of Al element, the tensile strength and hardness of the specimen increase gradually, while the plasticity and toughness are getting worse, the corrosion resistance is becoming better.

Keywords: AZ series magnesium alloy; aluminum content; microstructure; mechanical properties; corrosion resistance

收稿日期:2019-09-19

基金项目:内蒙古自治区研究生教育创新计划研究生科研创新项目(20190404051809)

作者简介:秦晨(1994—),男,硕士研究生,主要研究方向为镁-铝合金和先进钢铁材料基础研究及组织性能控制,E-mail:542267214@qq.com. 通讯作者:赵莉萍,教授,E-mail:zhaoliping5195@126.com

DOI:10.13251/j.issn.0254-6051.2020.03.014

向 嵩,刘国权,李长荣,等. 低碳钢碳氮析出物的热力学计算

[J]. 北京科技大学学报,2006,28(9):818-822.

Xiang Song, Liu Guoquan, Li Changrong, et al. Thermodynamic calculation of carbon nitrogen precipitates in low carbon steel [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(9): 818-822.

刘正东,程志峰,董瀚,等. 热轧带钢卷带及其冷却过程AIN沉淀析出模拟研究[J]. 钢铁,2004,39(3):38-42.

Liu Zhengdong, Cheng Jiefeng, Dong Han, et al. Study on the AIN precipitation hardening simulation of hot rolled steel during coil cooling

镁合金主要应用于汽车和电子通讯等产品。我国镁合金发展还存在很多不足,镁合金军工材料的研发必须加快发展脚步,这对镁资源的研发具有非常重要的意义^[1]。

在Mg-Al-Zn系镁合金中,AZ系列是Mg-Al系镁合金中非常重要的一种。AZ系列镁合金属于一种成

[J]. Iron and Steel, 2004, 39(3): 38-42.

Massardier V, Guézet V, Merlin J, et al. Kinetic and microstructural study of aluminium nitride precipitation in a low carbon aluminium-killed steel [J]. Materials Science and Engineering A, 2003, 355(1/2): 299-310.

Hasan B M, Sathyamurthy P. Influence of nitrogen as grain refiner in low carbon and microalloyed steels [J]. Materials Science and Engineering, 2018, 314(1): 208-209.

雍岐龙. 钢铁材料中的第二相[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.

13. 贺兆海,马飞飞,周晓帆,谭会杰,王海燕,姚兆凤.稀土对含铌钢中NbC在奥氏体区析出热力学的影响[J].内蒙古科技大学学报,2020,39(01):40-42+59.

稀土对含铌钢中 NbC 在奥氏体区析出热力学的影响*

贺兆海,马飞飞,周晓帆,谭会杰,王海燕,姚兆凤
(内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古包头 014010)

摘 要:在微合金元素与稀土相互作用系数的基础上,计算出加入稀土后实验钢中奥氏体区的 NbC 相应的固溶度积。计算了目标第二相的完全固溶温度,探讨了稀土作用下对奥氏体区目标第二相 NbC 的溶解行为所产生的影响机理。结果表明:稀土元素 Ce 和 La 分别加入钢中,均会使钢中奥氏体区 NbC 的平衡固溶度有一定提高,在一定程度上提高了 NbC 在奥氏体区的析出自由能。热力学分析显示,稀土元素对奥氏体区 NbC 的析出起阻碍作用,使其在奥氏体区的析出得到延缓。

关键词: 稀土; NbC; 析出; 热力学

中图分类号: TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-2295(2020)01-0040-04

DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2020.01.009

合金元素 Nb 在钢中的存在状态对钢铁材料的性能产生影响^[1,2],其主要原因是钢中加入合金元素 Nb,在热处理或轧制过程中 Nb 元素溶于铁基体形成固溶原子或以第二相形式析出,由于钢中产生了新相,改变了钢中原有组织和钢中各相的稳定性,最终改变了钢铁材料的组织及性能^[3]。其中,未溶的碳氮化物不能产生明显作用,这就要求钢坯中的 Nb 要在轧制前应当尽量多地溶解,因此,研究微合金钢中 Nb 的溶解和析出行为具有重要的理论和实际意义^[4,5]。

目前,已有大量的研究工作测定了合金元素对钢中常见第二相形成元素固溶行为的相互作用系数,由于微合金碳氮化物的重要性,开展了大量研究工作并得到了深入细致的研究结果。在高低合金

钢中存在大多数合金元素都可以增大 Nb 在奥氏体中的固溶度。其中,稀土作用下微合金元素的交互作用还缺乏系统研究,钢中 C、Nb 与稀土元素的相互作用下,其活度会发生下降,因而会影响 NbC 在奥氏体区的溶解,使得 NbC 析出热力学发生改变^[6-8]。本文将通过热力学分析,探究稀土对微合金钢中 NbC 在奥氏体区析出热力学的影响。

1 实验材料

实验钢采用 25 kg 真空感应炉熔炼,铸锭经过表面处理之后进行锻造,锻后空冷,其化学成分见表 1。1[#]为未添加稀土的实验钢,2[#],3[#]为添加不同含量稀土的实验钢(铜元素与铌元素的混合物)。

表1 实验钢的化学成分(质量分数,%)

编号	C	Si	Mn	P	S	Als	N	Nb	Ti	RE(La+Ce)
1 [#]	0.061	0.19	1.88	0.012	0.005	0.03	0.001 2	0.061	0.012	0
2 [#]	0.064	0.24	1.93	0.012	0.002	0.03	0.001 2	0.067	0.010	0.002 6
3 [#]	0.064	0.20	2.02	0.016	0.004	0.03	0.001 2	0.065	0.009	0.008 0

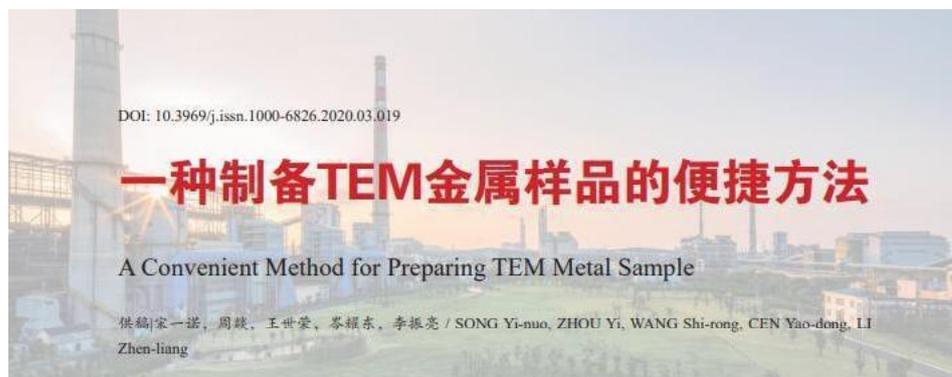
* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(51961030);内蒙古科技大学李俊卫创新基金资助项目(2017122);内蒙古科技大学创新基金资助项目(2019Q104-B05)。

作者简介:贺兆海(1997-),男,内蒙古科技大学本科生。

通讯作者:e-mail:2356094337@qq.com

收稿日期:2019-12-11

14. 宋一诺,周焱,王世荣,岑耀东,李振亮.一种制备TEM金属样品的便捷方法[J].金属世界,2020(03):74-76.



内 本文针对透射电镜(TEM)金属样品机械减薄较为困难的问题,设计了一种简单便捷的套筒式机械磨薄装置,并且以铜片样品为例详细介绍了样品减薄的便捷方法和过程。采用新型装置的便捷方法可以在较短时间内制备40~70 μm厚的金属薄片。与TEM制样传统方法相比,具有效率较高、不易产生机械损伤、均匀减薄的特点,完全符合TEM的制样要求,而且特别适合于稀有小试样的磨薄。

材料科学的研究揭示了材料的宏观性能与其微观特征的密切相关性,而各种新颖的表面处理技术及分析测试手段为揭示材料宏观性能与其显微特性之间的内在关联性创造了有利条件^[1]。其中透射电镜(TEM)就是这些分析测试技术中使用最为广泛一种。金属或合金等的TEM样品制备要求是将样品减薄为无污染、无缺陷以及电子束可以透过的薄区^[2],由此可知样品的制备是影响透射电镜观察和分析结果的一个关键因素,即金属试样减薄的成功与否直接影响着透射电镜照片的质量^[3]。

金属或合金等TEM块状样品的制备过程通常为:先将金属试样的厚度机械减薄至100 μm以内,再进行电解液双喷减薄或离子减薄^[4-5]。传统方法中,对于金属或合金等块状样品的机械减薄多为手工磨光或者利用一些简陋媒介粘贴试样进行磨制。但是,这些方法制样效率较低,且难以把握试样的受力均匀程度,容易导致金属试样受损,尤其是当

样品本身较小手持研磨不方便时,极易在研磨过程中使样品产生机械损伤^[6]。

因此,本着保证质量、提高效率的原则,研究设计了一种新型套筒式机械磨薄装置。

新型装置

新型套筒式机械磨薄装置具体制备过程如图1所示:由不锈钢圆柱体作为研磨柱,不锈钢圆环作为套筒,两者结合卡位组成样品机械磨薄装置,套筒与研磨柱之间可以进行自由调整位置,但必须是过盈配合,以确保研磨柱和套筒不会松动。

图2是新型套筒式机械磨薄装置的实物图。利用此装置进行TEM金属样品机械减薄的具体操作过程示意图如图3。

切取样品

根据试样的大小和材料的软硬选择合适的工具

作者单位:内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010

74 2020年第3期

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

15. 宋一诺,王世荣,周焱,岑耀东,李振亮.研究轧制不均匀变形的创新实验方法[J].现代冶金,2020,48(01):31-33.

研究轧制不均匀变形的创新实验方法

宋一诺, 王世荣, 周焱, 岑耀东, 李振亮

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 不均匀变形是材料成型及控制工程专业必须掌握的重点知识, 实验室通常采用凹、凸轧辊进行轧制, 但是, 凹、凸轧辊只能用来研究轧制不均匀变形, 而不能开展其它实验, 有很大的局限性。从不均匀变形的原理出发, 研究轧制不均匀变形带来的实际影响, 且考虑到实验的方便性, 创造性的以平辊代替凹、凸轧辊, 得到了中间厚两边薄、中间薄两边厚、镰刀弯三种常见的不均匀变形缺陷, 达到了实验的目的。

关键词: 轧制; 轧辊; 不均匀变形

中图分类号: TG33; TG333.17

1 概述

材料成型及控制工程专业不仅要研究轧制均匀变形^[1], 还需研究不均匀变形的相关影响^[2-3]。传统方法采用凸辊(如图 1 所示)和凹辊(如图 2 所示)研究不均匀变形, 但其成本高、操作复杂, 具有一定局限性^[4-5]。本文采用平辊模拟凹辊和凸辊的功能, 通过轧制折叠的铅片, 以及通过调整辊缝倾斜度, 来观察轧制不均匀变形的几种现象, 免去了一些不必要的繁琐操作, 降低了实验成本, 并突破了凹、凸轧辊的局限性。

2 试验过程

2.1 试验材料和方法

试验材料及仪器: 铅板、手套、钢锯、板锉等。仪器工具包括 $\Phi 130$ mm 二辊板带轧机、台钳及游标卡尺等。

取 3 个尺寸相同的铅片进行轧制试验。将第 1 个试件沿长度方向由两边向中间折叠, 使得试件中间薄两边厚。将第 2 个试件折成 S 型, 使得试件中间厚两边薄; 调整轧辊压下装置, 使轧辊两侧压下量一致, 两侧辊缝一致, 分别在平辊上轧制。调整辊缝为

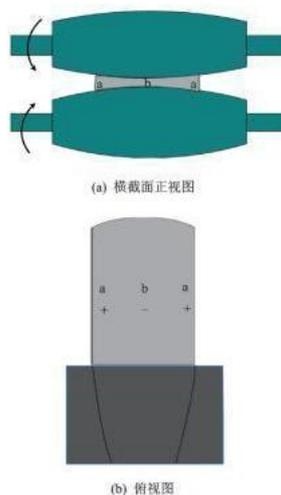


图 1 在凸形辊上轧制矩形坯

一侧大一侧小的楔形, 将第 3 个试件直接送入轧机进行轧制。

收稿日期: 2019-07-19

基金项目: 内蒙古科技大学教育教学改革研究项目(JY2018017); 内蒙古科技大学课程思政教改项目“材料加工创新实验”(SZY2018002)

作者简介: 宋一诺(2000-), 男, 学生。E-mail: 961110952@qq.com

16. 梁梦斐,任慧平,王海燕,刘智彪,吕玉峰.冷弯 20G 钢显微组织与变形后残余应力的分布规律[J].热加工工艺,2020,49(06):62-64.

Hot Working Technology 2020, Vol. 49, No. 6

冷弯 20G 钢显微组织与变形后残余应力的分布规律

梁梦斐¹, 任慧平², 王海燕¹, 刘智彪³, 吕玉峰¹

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 内蒙古科技大学 白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室, 内蒙古 包头 014010; 3. 北方联合电力有限责任公司包头第一热电厂, 内蒙古 包头 014010)

摘要:以 20G 锅炉钢为研究对象,从显微组织、变形后残余应力分布角度分析了 20G 冷弯钢管的失效行为。采用光学显微镜(OM)分析了裂纹处与非裂纹处的显微组织;利用扫描电镜(SEM)观察及电子背散射衍射仪(EBSD)收集断口区的微观取向信息,从而阐明了微观取向与钢力学性能间的关系。结果表明,20G 钢的显微组织主要由铁素体和珠光体构成,并出现带状组织。20G 弯管处残余应力分布较集中;相比而言,直管部分应力分布显得较为杂乱。

关键词:20G;显微组织;残余应力;EBSD;KAM

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.20183226

中图分类号:TG142.1

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2020)6-0062-03

Microstructure of Cold Formed 20G Steel and Distribution Rule of Residual Stress After Deformation

LIANG Mengfei¹, REN Huiping², WANG Haiyan¹, LIU Zhibiao³, LYU Yufeng¹

(1. School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Key Laboratory of Integrated Exploitation of Bayan Obo Multi-Metal Resource, Baotou 014010, China; 3. Baotou No. 1 Thermal Power Plant, Baotou Power Co., Ltd., Baotou 014010, China)

Abstract:Based on 20G boiler steel, the failure behavior of 20G cold-formed steel pipe was analyzed from the angle of microstructure and residual stress distribution after deformation. The microstructure of crack and non-crack position was analyzed by optical microscope (OM). Scanning electron microscopy (SEM) and electron backscattering diffraction (EBSD) were used to collect the orientation information of fracture area to clarify the relationship between micro-orientation and mechanical properties of steel. The results show that the microstructure of 20G steel is mainly composed of ferrite and pearlite, and the banded structure appears. The stress distribution of 20G elbow is concentrated. Compared with that, the stress distribution of straight pipe is ratherly mixed.

Key words:20G; microstructure; residual stress; EBSD; kernel average misorientation (KAM)

由于发电厂设备需满足在高恒久温度、高压力和腐蚀环境下工作的要求,对其强度、塑性、韧性、抗蠕变强度等性能的要求愈来愈高^[1]。20G 高压锅炉管属于亚共析钢,其微观组织为铁素体和珠光体,颗粒比较均匀。由于其具有优良的高温强度、组织稳定性、塑韧性、冷热环境成形以及良好的焊接性能等优点,在锅炉管道、输油管道和天然气管道等方面得到

了较为广泛的应用^[2-4]。20G 钢的疲劳破坏受到许多因素的影响,例如:在高温烟雾和蒸汽的影响下,管易发生氧化和腐蚀;冷拔时材料的加工硬化会减少塑韧强度,容易发生缺陷,产生微裂纹造成损害;不正确的热处理会引起铁素体不完全奥氏体化,也会对炉管造成损害;焊接残余应力在加热和冷却的过程中产生,不仅降低了管道的承载能力和耐腐蚀性,并且会使构件发生前期失效行为,使管道的正常利用年限降低^[5-6]。

本文通过分析某厂 20G 钢的开裂原因,从显微组织、变形后残余应力分布角度说明了其失效行为。采用光学显微镜(OM)分析了裂纹处与非裂纹处的显微组织;利用扫描电镜(SEM)观察及电子背散射

收稿日期:2018-10-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51764047);广东省现代焊接技术重点实验室项目(2015)

作者简介:梁梦斐(1995-),女,河南南阳人,硕士研究生,主要从事优势资源先进材料研究开发;电话:15647285827; E-mail:liang_mengfei99@163.com

17. 张桐,赵勇桃,田志华,鲁海涛,任慧平.P92 钢单渗铝涂层与 Ni-Al 复合涂层高温抗氧化性能的对比研究[J].内蒙古科技大学学报 2020, 39(01):50-53.

P92 钢单渗铝涂层与 Ni-Al 复合涂层 高温抗氧化性能的对比研究*

张桐,赵勇桃[†],田志华,鲁海涛,任慧平

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 为了提高 P92 钢的高温抗氧化性,在其表面分别制备了单渗铝涂层和 Ni-Al 复合涂层,并测试了 2 种涂层在使用温度(650 °C)下的恒温抗氧化性能,总的氧化时间为 120 h。采用光学显微镜和扫描电子显微镜分析涂层氧化过程中的组织形貌变化,利用能谱仪对氧化试样进行截面元素线扫描,使用 X 射线衍射仪对涂层氧化产物进行物相分析。结果表明: Ni-Al 复合涂层的氧化增重较低(1.853 g/m²),且在氧化 120 h 时尚未形成完整氧化膜,而单渗铝涂层的氧化增重为 2.225 g/m²;在氧化 120 h 后,单渗层的 Al 元素扩散至距表面 24.53 μm,得到的氧化产物主要为 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃,复合涂层的 Al 元素扩散至距表面 19.04 μm,氧化产物主要为 Al₂O₃。由于复合涂层中的纯 Ni 层能够有效减缓 Al 元素向基体扩散,从而比单渗铝涂层具有更好的高温抗氧化性。

关键词: P92 钢;单渗铝涂层;Ni-Al 复合涂层;稀土;高温抗氧化性

中图分类号: TG174.4 文献标识码: A

文章编号: 2095-2295(2020)01-0050-04

DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2020.01.011

P92 钢由于良好的高温综合性能被广泛应用于火力发电机组的主蒸汽管道,当工作温度超过 650 °C 时, P92 钢的抗氧化性能急剧下降^[1]。这已成为限制 P92 钢向更高温发展的瓶颈问题,利用表面处理技术可以提高其高温抗氧化性能^[2]。目前,常用的 P92 钢防蚀涂层主要有 2 种:单渗铝涂层利用粉末包埋渗铝技术在 P92 钢基体表面形成 Fe-Al 渗层,在高温氧化时渗层表面可生成一层致密的氧化膜来达到抗氧化的效果,制备工艺简单且成本较低^[3];而 Ni-Al 复合涂层是在单渗铝涂层的基础上,在渗铝层与基体之间增加一定厚度的纯镍层,通过抑制渗铝层 Al 元素与基体的相互扩散,大幅度提高涂层的使用寿命^[4]。但复合涂层制备工艺复杂,成本相对较高。本文采用恒温氧化增重法对 2 种涂层的高温抗氧化性能进行对比研究,并计算了 2 种涂层的平均氧化速率,并分析其作用机理。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验选用 P92 铁素体耐热钢为基体,其主要化

学成分为 Fe-9Cr-0.5Mo-1.8W-0.1C (质量分数,%)。渗铝剂成分为纯铝粉(化学纯)、NH₄Cl、无水氯化钙(CaCl₂),填充剂为经过 1 300 °C 高温焙烧 3 h 的高纯氧化铝(Al₂O₃)。

1.2 涂层制备工艺

实验制备涂层工艺有 2 种:直接对基体进行粉末包埋渗铝来制备单渗铝涂层和采用电镀镍+粉末包埋渗铝 2 步法制备 Ni-Al 复合涂层。首先,将 P92 钢切割成规格为 20 mm × 10 mm × 3 mm 的尺寸,然后对 P92 钢进行预处理,机械整平→清洗→化学除油→热水洗→清洗→酸蚀→清洗→药液活化→清洗→预镀镍→电镀镍→回收→清洗→干燥,对预处理后的试样进行镀镍,电镀液配方为硫酸镍 15 g/L、硼酸 3.5 g/L、柠檬酸铵 2 g/L,30% 的双氧水 2~5 g/L,电镀工艺参数为电流密度 2.0~4.0 A/dm²,阳极接镍板,阴极接试样,pH 控制在 4~4.5 之间,温度为 45 °C。然后进行包埋渗铝,渗铝剂配方为 6Al-2NH₄Cl-2CaCl₂-90Al₂O₃ (质量分数,%)。其中稀土 CaCl₂ 起催化和促渗作用^[5],混匀烘干后放入刚

* 基金项目:内蒙古科技大学大学生科技创新基金资助项目(2017033);内蒙古科技大学大学生创新创业训练计划项目。

† 作者简介:张桐(1997-),男,内蒙古科技大学硕士研究生。

通讯作者:e-mail:zy00110@126.com

收稿日期:2019-11-30

18. 李林涛.金属材料热处理工艺与技术分析[J].中国金属通报, 2020 (01): 93+95.

金属材料热处理工艺与技术分析

李林涛

(内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 随着我国经济、社会、科技的不断发展, 我国的金属材料热处理的技术水平得到了极大的提高, 金属材料热处理技术的水平高低影响到产品的物理性能, 关系着产品的出厂率与后期的使用质量, 将金属材料进行有效的热处理加工, 可大幅度提高金属材料的使用性能。所以热处理工艺在实际生产中具备较大的应用价值; 提高金属材料的成材率, 避免了对金属资源的过度消耗, 有效降低工业生产造成的环境污染等。基于此, 本文详细介绍了金属材料的主要性能, 阐述了热处理工艺水平对金属材料的影响关系, 并对当前的热处理新技术、工艺进行了具体的总结, 旨在为相关技术人员提供一定的理论参考价值, 推动我国金属材料热处理技术的全面进步。

关键词: 金属材料, 热处理工艺, 产品质量, 物理性能

中图分类号: TE96

文献标识码: A

文章编号: 11-5004(2020)01-0093-3

随着社会的发展, 我国的工业生产在国民经济中所占的比例越来越大, 这也带动了有色金属行业的迅猛发展。近年来, 我国对有色金属的开发和利用越来越多, 其热处理加工技术也逐渐走向成熟。在工业生产中, 金属材料的物理性能受热处理加工工艺的影响较大, 因热处理技术低下造成的金属材料耐久性、硬度、疲劳性能不达标, 会导致金属材料报废, 增加企业的生产成本。而不合格的产品应用在实际生产中, 还将可能造成严重的安全事故, 导致巨大的人身财产损失。这就要求相关企业对热处理工艺进行严格的控制, 以提高金属材料的各项性能^[1]。

提高金属材料的热处理技术水平, 不但可以提高产品的质量, 而且能使热处理工艺更加绿色环保, 满足工业生产节能减排的要求。所以, 相关研究人员应重视金属材料热处理工艺的研发与创新, 加强对热处理工艺各环节的管控, 以提高金属材料的热处理技术水平^[2]。

1 金属材料的主要性能

金属材料在实际应用中表现出塑性好, 强度高、韧性强, 耐腐蚀等特点, 其主要物理性能为以下几点。

1.1 金属材料的硬度性能

金属材料的硬度主要是在应用中金属表现出来的抗击能力。硬度是金属材料物理性能衡量的重要指标, 也是金属自身的显著物理特性之一。金属材料的硬度越高, 其在实际应用中展现出较好的抗击性能, 应用范围也更为广泛。

1.2 金属材料的耐久性

金属材料的耐久性是金属材料在使用过程中经受环境的作用, 还能继续保持其使用性能的能力。耐久性与金属材料受腐蚀程度是密切联系的, 金属材料在实际应用中, 受环境因素影响, 必然会受到某种程度上的腐蚀, 其种类包括应力、腐蚀、磨损腐蚀等, 金属材料的耐久性越强, 则自身受腐蚀的程度就越低, 就能具备较长的使用寿命。

1.3 金属材料的疲劳性

金属材料出现疲劳是指金属材料在工作环境中, 长期承受交变载荷作用, 未发生显著塑性变形的情况下突然严重损坏或断裂的现象, 其特征是金属材料所受应力并未达到材料规定的临界点。然而, 连续性的周期性外力, 造成金属材料断裂或者损坏。

疲劳性也是金属性能的重要衡量指标之一。在实际应用中, 金属材料极易出现疲劳失效的现象, 如机械设备中的轴、轴承、连杆类等零件都会出现疲劳失效的现象。因此对各类长期在应力下工作的工件都要求具备较高的疲劳强度, 这样可以提高工件的使用周期。

2 热处理工艺对金属材料性能的影响

对金属材料进行热处理加工, 可以有效提高金属的物理性能, 保证金属工件在应用中获得最佳的机械效果。

2.1 热处理工艺对金属材料耐久性的影响

在金属材料进行热处理时, 金属材料持续处在热处理盈利的的作用下, 其自身的腐蚀状况会发生较大的改变。因此可从热处理应力入手对金属的耐久性进行改善。在对金属材料进行热处理的过程中, 技术人员需要按照金属材料自身耐久性情况, 对热处理应力的大小进行确定, 避免残余应力对金属材料的耐久性带来的不良影响, 从而提高金属材料的质量和耐久性。

2.2 热处理温度对金属材料疲劳性的影响

金属材料通过科学、合理的热处理工艺技术处理与整体加工后, 其成品的物理性能及质量都会得到显著提升。在热处理工艺中, 热处理温度对金属材料的疲劳性影响较大, 比如金属材料在加工完后, 如果冷却速度过快, 短时间内金属材料因温度剧变而受到较大的应力作用, 极易出现金属断裂等现象。所以对金属材料进行热处理时, 工作人员对热处理工艺的温度应严格把控, 在合理范围内对温度进行调节, 从而找到最适宜的热处理温度, 以此提高金属材料的疲劳性。

2.3 热处理预热对材料切削造成的影响

对金属材料进行整体加工时, 会对金属材料进行一系列的切削操作。所以必须根据金属特点选择适宜的切削工具, 除此之外, 在切削的进行过程中, 工作环境也会对金属的变形情况、光泽度造成影响。基于此, 为了提高的金属材料的切削质量, 可以采用预热的方式为切削提供技术保障。对金属材料进行预热加工处理, 可避免在切削时刀具、材料之间粘连现象的发生, 从而使得切削效率和切削精度得到有效保障, 金属成品的质量和规格都符合要求^[3]。

3 金属材料热处理新工艺与技术

近年来, 随着科技水平的提升, 一些热处理的新工艺, 新方法也不断出现, 技术的改进使得金属材料的物理性能、成品质量都得到了极大提高。

(下转 95 页)

收稿日期: 2020.01

作者简介: 李林涛, 男, 生于1998年, 汉族, 湖南常德人, 本科, 研究方向: 金属材料。

19. 袁野,石裕全,王云海,邵云,杜永胜.氧化铅对白云鄂博尾矿微晶玻璃析晶特性的影响[J].陶瓷,2020(01):30-38.

氧化铅对白云鄂博尾矿微晶玻璃析晶特性的影响*

袁野¹ 石裕全² 王云海³ 邵云³ 杜永胜¹

(1 内蒙古科技大学理学院 内蒙古 包头 014010)

(2 内蒙古科技大学机械工程学院 内蒙古 包头 014010)

(3 内蒙古科技大学材料与冶金学院 内蒙古 包头 014010)

摘要 笔者以白云鄂博尾矿为主要原料,以CaF₂为晶核剂并采用熔融法制备得到了尾矿微晶玻璃,通过DSC、XRD、SEM及Raman光谱研究了不同质量的PbO对微晶玻璃析晶特性的影响。研究表明:微晶玻璃的晶体生长方式主要以表面析晶为主,且随着PbO含量的增加,微晶玻璃析晶特性先增强后减弱。主晶相由相互交错分布的钙铝黄长石和辉石构成,随着PbO含量的增加钙铝黄长石有增强趋势。Pb²⁺主要以PbF₂的形式分布在晶相与玻璃相间的界面位置,少量Pb²⁺通过置换辉石中的Ca²⁺形成置换固溶体存在于辉石相中。

关键词 白云鄂博尾矿 微晶玻璃 重金属 氧化铅 析晶特性

中图分类号:TQ174 文献标识码:A 文章编号:1002-2872(2020)01-0030-09

Effect of PbO on Crystallization Characteristics of Bayan Obo Tailing Glass—Ceramics

Yuan Ye¹, Shi Yuquan², Wang Yunhai³, Shao Yun³, Du Yongsheng¹ (1 School of Science, Inner Mongolia University of Science & Technology, Neimenggu, Baotou, 014010) (2 School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science & Technology, Neimenggu, Baotou, 014010) (3 School of materials and metallurgy, Inner Mongolia University of Science & Technology, Neimenggu, Baotou, 014010)

Abstract: Tailings glass—ceramics were prepared by melting method with Bayan Obo tailings as main raw materials, and CaF₂ as nucleating agent. The effect of different ratio of PbO on crystallization characteristics of tailings glass—ceramics were characterized by DSC, XRD, SEM and Raman spectra. The results showed that the mode of crystal growth of the glass—ceramics was surface crystallization and the crystallization characteristics of glass—ceramics first increased and then decreased with the increase of PbO addition. The main crystalline phases of glass—ceramics were mainly composed of gehlenite and diopside with an interlaced distribution pattern, and the increase of PbO content contributed to the enhancement of crystallization characteristics of gehlenite in glass—ceramics. Pb²⁺ was mainly distributed in the form of PbF₂ at the interface between crystal phase and glass phase, and a small amount of Pb²⁺ can substitute the Ca²⁺ in the structure of diopside phase to form substitutional solutes.

Key words: Bayan Obo tailings; Glass—ceramics; Heavy metal; PbO; Crystallization characteristics

DOI:10.19397/j.cnki.ceramics.2020.01.006

前言

随着我国国民经济的快速发展,资源短缺的矛盾

日益凸显,环境压力日益增加。开发利用二次资源已经成为当前解决资源短缺的重要途径。在可利用二次资源中,最重要的一类是固体废弃物,包括各种采矿废弃物、选矿后尾矿、高炉渣、钢渣、粉煤灰等,以尾矿或废渣为主要原料制备尾矿微晶玻璃,可以消耗大量的

* 基金项目:2019年内蒙古科技大学大学生创新创业训练计划;内蒙古自治区教育厅项目(项目编号:NJZY18143)及内蒙古自然科学基金项目(项目编号:2018MS05033)。

作者简介:袁野(1999—),本科在读;研究方向为应用物理。

通讯作者简介:杜永胜(1977—),博士,副教授;研究方向为资源综合利用。

20. 孙佳奕,万红,况家瑾,袁诚.基于焚失法的天然植物金属艺术品成形研究[J].特种铸造及有色合金,2020,40(09):1012-1015.

Sep. 2020
Vol. 40 No. 9

特种铸造及有色合金
SPECIAL CASTING & NONFERROUS ALLOYS

艺术铸造

基于焚失法的天然植物金属艺术品成形研究

孙佳奕¹ 万红¹ 况家瑾² 袁诚¹

(1.南昌航空大学航空制造工程学院; 2.内蒙古科技大学材料与冶金学院)

摘要 基于古代焚失法,以石膏型面层与加固层替代传统泥范来制备天然植物金属艺术品。结果表明,以50%的 α 型半水石膏和50%铝矾土作为基体材料,加80%的硫酸亚铁和20%的焦磷酸钠混合溶液作为添加剂配制成的浆料,制得的石膏型显微结构较松散,能降低型壳强度,提升破壳效果;加50%的硅溶胶作为粘结剂配制成的浆料,制得的石膏型显微结构出现三维网状结构,能提高石膏加固层抗弯和抗拉强度,阻止转型的变形和开裂。所制备铸件造型逼真。

关键词 焚失法;石膏型;天然植物金属艺术品

中图分类号 TG249.9 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2020.09.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Forming of Natural Plant Metal Artwork Based on the Ancient Lost-in-Fire Method

Sun Jiayi¹, Wan Hong¹, Kuang Jiajin², Yuan Cheng¹

(1.School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University;
2.School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology)

Abstract: Based on the ancient lost-in-fire method, the natural plant metal artworks were prepared by using gypsum surface layer and reinforcement layer instead of traditional clay. The results show that the slurry prepared with 50% α -hemihydrate gypsum and 50% bauxite as matrix materials and 80% ferrous sulfate and 20% sodium pyrophosphate as additives presents loose microstructure, which can reduce the strength of the shell and improve the broken shell effect. The slurry prepared with 50% silica sol as binder has three-dimensional network structure, which can improve the bending and tensile strength of the gypsum reinforcement layer and prevent the cracking and deformation of the mold. Finally, the casting has the characteristics of realistic modeling and unique.

Key Words: Lost-in-Fire Method, Gypsum Mould, Natural Plant Metal Artwork

收稿日期:2020-04-12;修改稿收到日期:2020-06-20

第一作者简介:孙佳奕,男,1999年出生,硕士研究生,南昌(330063),电话:15770590112,E-mail:270156952@qq.com

引用格式:孙佳奕,万红,况家瑾,等.基于焚失法的天然植物金属艺术品成形研究[J].特种铸造及有色合金,2020,40(9):1012-1015.

SUN J Y, WAN H, KUANG J J, et al. Forming of natural plant metal artwork based on the ancient lost-in-fire method[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2020, 40(9): 1012-1015.

- [4] FICZERE P, BORBAS L, FALK G, et al. Experimental determination of material model of machine parts produced by Selective laser sintering (SLS) technology [J]. Materials Today Proceedings, 2018, 5(13): 26-489-26-494.
- [5] 孙海霞,刘洪军,董选哲,等.基于SLS塑料原型的金属零件的快速铸造[J].特种铸造及有色合金,2001(4):12-13.
- [6] 黄英,殷亚军,纪志军,等.特征结构对SLS成形件尺寸精度的影响[J].特种铸造及有色合金,2018,38(8):889-893.
- [7] LING Y, ZHOU J, NAN H, et al. A shrinkage cavity model based on pressure distribution for Ti-6Al-4V vertical centrifugal castings [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 251: 295-304.
- [8] FENG X, QIU J, MA Y, et al. Influence of processing conditions on microstructure and mechanical properties of large thin-wall centrifugal Ti-6Al-4V casting [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2016, 32(4): 362-371.
- [9] SHUSTER R E, COCKCROFT S L, MAJER D M, et al. A three-dimensional transient thermal-fluid flow-compositional study of in-got casting during electron beam remelting of Ti-6Al-4V [J]. Applied Mathematical Modelling, 2016, 40(21-22): 9 095-9 117.
- [10] SONG B, DONG S, LIAO H, et al. Process parameter selection for selective laser melting of Ti6Al4V based on temperature distribution simulation and experimental sintering [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 61(9-12): 967-974.
- [11] 周君华,孙长波,尚伟,等. ProCAST 软件在熔模铸造工艺优化中的应用 [J]. 材料科学与工艺, 2013, 21(5): 109-112.
- [12] 叶明松. 铸造充型过程三维流场数值模拟技术研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [13] 熊守美, 许庆彦, 康进武. 铸造过程模拟仿真技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [14] WANG N, LIU L, GAO S, et al. Simulation of grain selection during single crystal casting of a Ni-base superalloy [J]. Journal of Alloys & Compounds, 2014, 586: 220-229.
- [15] NIYAMA E, UCHIDA T, MORIKAWA M, et al. A method of shrinkage prediction and its application to steel casting practice [J]. Int. Cast Met. J., 1982, 7(3): 52-63.
- [16] 高义民. 金属凝固原理 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2010.

(编辑:刘晨辉)

1012

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

21. 王权,王玉峰,孙梦彬,赵良忠.稀土电解炉阳极压板失效成因分析[J].稀土,2019,40(01):43-51.

稀土电解炉阳极压板失效成因分析

王 权^{1*}, 王玉峰¹, 孙梦彬¹, 赵良忠²

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;

2. 包头市玺骏稀土有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过宏观观察和微观显微组织检测等手段, 对以 20[#] 钢为材料的稀土电解炉阳极压板的失效机理进行了简单探索, 并且通过 XRD 检测对失效样品表面产物进行了分析, 结果表明: 导致阳极压板失效的主要原因为高位氧化和高温腐蚀, 其腐蚀主要产物为 FeO、NdOF、LiFe₂O₄ 以及其它与 Fe 反应产生的络合物。

关键词: 阳极压板; 失效分析; 高温氧化; 高温腐蚀

中图分类号: TG172.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0277(2019)01-0043-10

国内外生产混合稀土金属及单一稀土金属均采用熔盐电解法, 就目前的研究状况来看几乎全部集中在电解过程中阳极效率、石墨阳极保护及其影响石墨阳极寿命等方面^[1-3], 而对阳极压板失效方面的研究还未见报道。阳极压板是稀土电解炉上用来连接导电板和石墨阳极的重要导电部件^[4,5], 目前全部采用 20 mm 厚的 20 号钢板来制作, 经实际测量和大量的数据统计分析表明, 其平均使用寿命非常短仅为 20 天, 不仅降低稀土电解炉的生产效率, 还由于压板腐蚀后的产物掉到炉内降低了稀土金属的纯度, 尤以铁元素的影响最大, 给企业造成很大的经济损失。本实验主要是针对在稀土电解炉上使用失效后的钢制阳极压板进行分析。分析采用宏观形貌观察和微观显微组织、腐蚀产物等的检测分析, 力求得出合理准确的

实验数据和结果, 并较为准确的推断出稀土电解炉阳极压板的失效形式与机理, 为找到提高稀土电解炉阳极压板寿命的方法提供了准确有力的数据。

1 实验部分

1.1 研究对象及方法

本次失效分析的研究对象为经过 20 个工作日连续使用后失效的阳极压板。该阳极压板原厚度为 20 mm, 材质为 20[#] 优质碳素结构钢, 其化学成分如表 1 所示。

首先对所取回的阳极压板进行宏观观察, 然后采用游标卡尺和千分尺测量其长、宽和厚度, 并分析阳极压板各部位尺寸的变化规律; 采用金相显微镜观察阳极压板不同部位组织, 分析其组织变化规

收稿日期: 2017-11-07

作者简介: 王 权(1962-), 男, 内蒙古包头人, 硕士, 教授级高工, 主要从事金属材料的研发工作。

* 通讯联系人(E-mail: 13847267965@163.com)

DOI: 10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.201901006

22. 沈鸿葵. 医用金属材料熔模铸造现状与展望[J]. 缔客世界, 2019 (2): 0276-0276

276

缔客世界 2019年02月 第02期

医用金属材料熔模铸造现状与展望

沈鸿葵

(内蒙古科技大学材料与冶金学院 内蒙古 包头 014000)

【摘要】本文简要介绍了不锈钢和钴基合金等常用医用金属材料的熔模铸造,并从模具材料,耐火材料,粘结剂和熔炼技术的角度介绍了钛和钛合金熔模铸造的发展。分析了国内医用金属材料熔模铸造行业的现状,针对我国医用熔模铸造的发展前景提出了相应对策。

【关键词】医用金属材料;熔模铸造;展望

【中图分类号】TJ760.5 **【文献标识码】**A

引言

随着老龄化的加速,中青年创伤的增加以及难治性疾病患者的增加,生物医学材料得到了迅速的发展。与生物陶瓷和高分子生物材料相比,医用金属材料具有高强度,良好的韧性和抗弯曲疲劳性等优异的性能。因此,熔模铸造已越来越成为研究的重点。与一般的熔模铸造材料相比,医用金属材料的熔模铸造特性主要表现在:①铸件表面要求更高的精度和粗糙度;②铸件表面没有或只有尽可能少的污染层。通过深入的研究,医用不锈钢和钴基合金的精密铸造已形成了成熟的工业化加工和生产体系。但是,由于钛和钛合金熔模铸造的起步较晚,再加上其自身的特殊性,它尚未大量生产,其研究仍在进行中。

1.1 熔模铸造发展现状

1.1.1 模具材料

医用金属材料熔模铸造的模具材料,在一般模具材料要求的性能的基础上,还需要突出某些特性:诸如优异的整形能力,优异的涂层性能,较小的线性收缩率和良好的尺寸稳定性等。根据是否有填充剂,可以将模具材料分为具有填充剂的模具材料和不具有填充剂的模具材料。石蜡-硬脂酸模具材料是软化点低且线性收缩率大的最早使用的模具材料。根据其特性,添加了填充剂以开发出许多性能更好的模具材料。例如,将低分子量聚乙烯溶解在石蜡中以细化石蜡的晶粒并提高模具材料的强度和熔点。开发了低分子量聚乙烯蜡模具材料;为了提高模具材料的耐热性,添加了高熔点石墨、铸型材料制备。使用和处理方法对铸型材料的性能影响很大。有必要防止模具材料在熔化过程中过热。温度过高和局部过热会导致模具材料氧化和碳化,从而降低模具材料的性能。当使用蜡桶保持温度时,模具材料的均匀性非常重要。当按压均匀的蜡桶时,蜡模将具有诸如填充不足,冷分离,颗粒表面,流线和网状线等缺陷。保温温度应略高于注蜡温度,均匀保温至少应为8H。

1.1.2 耐火材料

医用不锈钢和钴基合金通常使用莫来石作为耐火材料。莫来石粉具有热膨胀系数小,耐火度高,硬度高,热化学性质稳定等优点。铸件容易脱落,不变形,表面粗糙度低,屈服强度高。1976年,一些学者开始对Y2O3陶瓷壳进行研究,以粗粒Y2O3作为壳耐火材料,分散在硅酸钾胶体溶液中制成表层,但这种表层材料是由壳制成的,并不令人满意,而且有毛孔和小坑。在Y2O3中添加少量稀有的重金属氧化物,制成陶瓷坩埚和模具。该方法是相对成功的,但是它具有诸如重复过程,复杂的组件和高成本的缺点。ZrO2具有热力学稳定,高性价比和熔融钛润湿性差的特点。研究发现,烘烤过程中ZrO2的膨胀补偿了铸造过程中Ti合金的凝固收缩,从而提高了钛合金铸件的尺寸精度。另外,与使用MgO作为模壳相比,以CaO作为模壳铸造的铸件的反应层更薄,铸件缺陷更少。

1.3 粘结剂

型壳的性质与粘合剂的性质密切相关,并且它应该能够在壳的所有阶段发挥粘合作用。并且在存储过程中,涂层应具有良好

的浮率(长时间不凝结或沉淀)。在涂覆过程中,它应该能够很好地复制蜡的形状,并且不会与蜡模发生反应。在干燥过程中,它应该能够快速硬化并在烘烤后形成耐火材料。目前,工业上最常用的粘合剂是硅溶胶,主要用于不锈钢和钴基合金的熔模铸造。作为用于钛合金的精密铸造的粘合剂,除了满足上述条件外,熔模产品也不应与具有高化学活性的熔融钛反应。目前,用于钛合金熔模铸造的粘合剂已经从碳基粘合剂,酚醛树脂和胶体石墨演变成锆和二氧化锆等的有机粘合剂,然后发展为胶体氧化物被广泛使用。

1.4 熔炼技术

钛合金在熔融状态下非常活泼,对高温下的间隙元素非常敏感,并且可以与常用的耐火材料发生一定程度的反应。因此,钛和钛合金的熔炼和铸造必须在满足以下条件的专用设备上进行:①所用的热源必须提供高密度的热量,以确保金属在熔融状态下具有较高的温度;同时,确保设备清洁度。避免污染熔融金属;②在冶炼和浇注的所有阶段,设备内部应始终保持真空状态或保护气氛;③所用坩埚的内壁应能在工作过程中自动形成壳体,以使坩埚与熔融金属隔离,防止污染。

2 国内医用金属材料熔模铸造行业现状

我国是医疗设备市场增长最快的国家之一,过去几年的增长率为14%至16%。从2007年到2012年,复合年增长率将达到25%。2013年,膝关节植入物的重建材料市场达到3亿美元。关节植入物的生产方法主要是锻造和铸造。与锻造相比,精铸具有较短的生产周期和较低的成本。医用精密铸件,特别是医用钛合金精密铸件,是精密铸件的高端产品,但目前国内厂商不多,市场基本上被国外厂商垄断。

3 总结与展望

随着对医用金属材料市场需求的不断增长,如何更有效地生产高质量产品已成为研究的重点。熔模铸造在钛合金复杂结构的精确成型中起着不可替代的作用。由于高尺寸精度,出色的表面质量和复杂的成型形状,在其他合金的成型中也被广泛使用。熔模铸造正面临更大的技术挑战,同时也代表着会迎来更大的发展机会,因此我们仍需要在医用金属材料熔模铸造领域继续努力。

参考文献

- [1] 朱文琪,周路海,贺进,吴广新,李重河,汪宏斌.医用金属材料熔模铸造现状与展望[J].特种铸造及有色合金,2014,52:55.
- [2] 张文航.生物医用金属材料研究现状与应用进展[J].金属世界,2019,21:27.
- [3] 王强,李洋,徐大可.医用金属材料耐腐蚀性能研究进展[J].表面技术,2019,48(07):193-199+210.
- [4] 曾德鹏,余森,王震,于振涛,刘印,盖晋阳,代晓军.医用金属材料表面自身纳米化研究进展[J].材料导报,2019,33(S2):343-347.
- [5] 范燕,徐昕荣,石志峰,刘佳,李冰,徐蒙蒙.生物医用金属材料表面改性的研究进展[J].材料导报,2019,34(S2):1327-1329.

作者简介:沈鸿葵(2000.05),男,汉,河北唐山,本科,无,内蒙古科技大学材料与冶金学院,研究方向:无。

23. 王权,王玉峰,王供绿.不同温度下钨金属在 NdF₃-LiF 熔盐环境中的腐蚀行为研究[J].稀土,2019,40(04):95-101.

第 40 卷 第 4 期
2019 年 8 月

稀 土
Chinese Rare Earths

Vol. 40, No. 4
August 2019

不同温度下钨金属在 NdF₃-LiF 熔盐环境中的腐蚀行为研究

王 权^{*}, 王玉峰, 王供绿

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 稀土氧化物熔盐电解过程中钨阴极的局部快速损失是困扰生产的现实紧迫问题, 为了揭示其腐蚀原因, 在对稀土熔盐电解过程中钨阴极作用、使用环境及消耗进行现场调研的基础上, 设计出与现场使用环境相近的实验室研究方案进行实验, 通过测量试样的质量变化、表面腐蚀产物 XRD 分析、横截面 SEM 形貌观察、晶界能谱测定及理论计算减薄值等得出: 在本实验条件下, 钨金属的损耗原因主要是高温氧化和高温腐蚀, 其高温氧化是主要原因。经理论计算 850 °C 下的每月减薄值为 0.50 mm, 950 °C 下的每月减薄值为 9.27 mm。

关键词: 熔盐电解; 钨金属; 高温氧化; 高温腐蚀

中图分类号: TG172.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2019)04-0095-07

熔盐电解法是目前制取大量混合稀土金属、单一轻稀土金属(钪除外)和稀土合金最广泛的方法^[1-10], 它具有制备纯度高, 成本相对低以及良好的连续化生产等优点。它所制备的大量稀土金属、合金已广泛应用于各行业中, 充分发挥了稀土元素独特的化学和物理效能。作为采用电化学反应原理来生产稀土金属的电解炉, 电极是核心, 也是关系生产成本、产品质量、生产管理的重要因素。就目前熔盐电解制备稀土金属、合金的制备工艺来讲, 电解炉的阴极材料几乎全部采用一定直径的钨金属电极, 充分发挥了钨金属所具有的良好导电、电极活性和耐氧化、耐腐蚀性, 为此钨阴极用作熔盐电解稀土电极是目前的不二选择^[11-13]。尽管

钨电极具有较高的熔点(3407 °C ± 20 °C)和热稳定性, 但在电解生产过程中仍会发生逐渐慢速被熔盐侵蚀消耗的现象。据资料^[14, 15]介绍在稀土熔盐电解的生产实践中, 发现钨阴极在高温气态介质、挥发性熔盐物质和高温热空气的共同作用下腐蚀严重, 尤其是在气-液界面附近或上方 80 mm 处的腐蚀更加显著, 降低了钨阴极的使用寿命(据统计一支钨阴极单向使用寿命为半年, 双向使用寿命最多为一年)。为此, 结合熔盐电解炉的生产实际和工矿, 设计合理的实验研究方案, 对熔盐电解炉所用金属钨材料进行不同温度的高温腐蚀实验, 力求通过实验研究找出导致稀土熔盐电解炉钨阴极快速损伤的原因, 从而实现有效延长钨阴极的使用寿

收稿日期: 2018-05-25

作者简介: 王 权(1962-), 男, 内蒙古包头人, 教授级高工, 硕士, 主要从事金属材料的研究。

* 通讯联系人(E-mail: 13847267965@163.com)

DOI: 10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.201904012

24. 王权,王玉峰,赵岳林,赵良忠,赵海营,夏云.稀土电解炉钨阴极失效原因分析[J].稀土,2019,40(05):106-11

第40卷第5期
2019年10月

稀 土
Chinese Rare Earths

Vol. 40, No. 5
October 2019

稀土电解炉钨阴极失效原因分析

王 权^{1*}, 王玉峰¹, 赵岳林¹, 赵良忠², 赵海营², 夏 云²

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;

2. 包头市玺骏稀土有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对稀土电解炉阴极钨棒局部腐蚀的问题, 通过生产现场调研与实验检测两个部分对失效原因进行分析。生产现场调研主要目的是调查钨阴极的使用过程、环境和寿命等, 实验检测主要目的是分析钨阴极的腐蚀机理, 结合两者分析阴极钨棒的腐蚀原因及其过程。分析表明, 钨阴极的腐蚀行为主要是在缩颈处, 该区域发生严重的沿晶腐蚀, 而其他部位腐蚀较轻, 生产现场的温度、气流、生产工艺对缩颈产生很大影响。

关键词: 钨阴极; 缩颈; 高温氧化; 沿晶腐蚀

中图分类号: TG172.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2019)05-0106-09

目前国内外混合稀土金属及单一稀土金属常采用熔盐电解法进行生产, 这种方法分为两种电解质体系, 其一是氯化稀土电解质体系, 即二元体系如 $\text{RECl}_3\text{-KCl}$; 其二是氧化稀土电解质体系, 即三元体系如 $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-REF}_3\text{-LiF}$ ^[1]。就目前的生产情况而言, 三元体系电解炉所用的阴极为价格较贵的金属钨棒, 它的平均使用寿命仅为单向 6 个月、双向不足 1 年^[2-4], 给企业造成很大的经济损失。本文失效分析主要采用宏观形貌观察、使用过程的现场调研和失效处显微组织、腐蚀产物等分析手段, 来分析造成钨阴极失效的真正原因。力求找出造成钨阴极失效的主要原因及其影响因素并提出改进建议, 为提高稀土电解炉钨阴极的使用寿命提供理论依据。

1 研究对象及方法

本次失效分析的研究对象为经过 6 个月连续使用后失效的钨阴极。该钨阴极的原直径为 75.9 mm, 材质为粉末冶金的烧结钨棒, 其化学成分如表 1 所示。

首先对失效后的钨阴极进行宏观观察, 然后采用游标卡尺和千分尺测量其直径与长度; 采用金相显微镜观察钨阴极缩颈处不同部位组织并分析其组织变化规律; 采用 X-射线衍射仪测量钨阴极表面不同部位的腐蚀产物, 确定腐蚀产物的组成; 最后采用扫描电子显微镜二次电子照片分析特殊位置的相貌以及元素组成。

收稿日期: 2018-09-28

作者简介: 王 权(1962-), 男, 内蒙古包头人, 教授级高工, 硕士, 主要从事金属材料的研究。

* 通讯联系人(E-mail: 13847267965@163.com)

DOI: 10.16533/j.cnki.15-1099/TF.201905014

25. 冯佃臣,崔建新,孙学贤,武星富.感应与传统加热低温回火对 45 钢管组织与性能的影响[J].热加工工艺,2019,48(02):171-174.

《热加工工艺》2019年1月第48卷第2期

感应与传统加热低温回火对 45 钢管组织与性能的影响

冯佃臣¹,崔建新¹,孙学贤²,武星富²

(1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 山东汇通集团科技研发中心, 山东 聊城 252000)

摘要:将 45 钢无缝钢管在冰盐水中冷却淬火,然后采用传统的箱式电阻炉和 100 Hz、150 Hz 频率快速感应电磁加热装置分别进行 200 °C 低温回火,对淬火和不同加热回火后的 45 钢无缝钢管进行组织观察和硬度测试,并对不同回火后的试样进行冲击和拉伸试验,观察拉伸后的断口形貌。试验结果表明:采用 200 °C 的传统回火和快速感应回火都得到回火马氏体,但感应加热回火后仍然存在少量残余奥氏体,且拉伸断口都为韧性断口。感应加热回火较传统加热回火后的硬度、抗拉强度、冲击韧性和伸长率都高。其中,电流频率为 150 Hz 的感应低温回火的硬度、抗拉强度、冲击韧性值及伸长率最大,其值分别为:52 HRC,1463 MPa,211.66 J/cm² 和 6.45%。

关键词:45 钢无缝钢管;淬火;感应加热;低温回火

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2019.02.040

中图分类号:TG156

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2019)02-0171-04

Effects of Induction and Traditional Tempering at Low Temperature on Microstructure and Properties of 45 Steel Tubes

FENG Dianchen¹, CUI Jianxin¹, SUN Xuexian², WU Xingfu²

(1. School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Science Technology Research and Development Center, Shandong Huitong Group, Liaocheng 252000, China)

Abstract: The 45 steel seamless tubes were cooled and quenched in ice brine, and then low temperature tempering at 200 °C was carried out in the traditional box type resistance furnace and rapid induction electromagnetic heating device with 100 Hz and 150 Hz respectively. The microstructures of samples by quenching and tempering under different ways were observed, and the hardness, impact properties and tensile performance of the samples were tested accurately. Besides, the fracture morphology was also observed. The result shows that, the tempered martensite can emerge under the traditional tempering and rapid induction tempering circumstances. But a small amount of austenite still exists after induction heating tempering. And tensile fractures are ductile fractures. Compared with the traditional tempering, the induction tempering can improve the values of hardness, tensile strength, impact toughness and elongation more obviously. The hardness, tensile strength, impact toughness and elongation of the samples tempered by 150 Hz induction tempering at low temperature are maximum, which reach 52 HRC, 1463 MPa, 211.66 J/cm², 6.45%, respectively.

Key words: 45 steel seamless steel pipe; quenching; induction heating; low temperature tempering

将热处理材料放置到产生交变磁场的感应加热设备中,由于电磁感应作用,在材料上产生的感应电流使本身升温,以达到加热的目的^[1]。快速感应热处理具有加热速度快、效率高、节约能源、加热质量高、健康环保、机械化和自动化程度高^[2]等优点,因此,

感应加热被热处理所采用。

快速感应热处理包括时间与温度两个关键参数。快速感应回火加热温度范围通常为 120~600 °C,如碳钢感应回火温度低于 100 °C,则组织不会发生变化^[3]。碳钢的低温回火温度约为 150~250 °C,主要用于降低内应力,而此时硬度降低一般不超过 1~5 HRC。如果碳钢在低于 600 °C 回火,则组织发生显著变化,导致硬度大幅度下降,其值可超过 15 HRC,而最高硬度降低到 36~44 HRC。对于合金钢,在高于 600 °C 下回火,可能不会有显著的硬度下降^[4]。目前普遍认为,快速感应热处理加热速度快,晶粒细

收稿日期:2017-07-26

基金项目:内蒙古科技大学材料与冶金学院青年孵化基金项目(Q14CY012)

作者简介:冯佃臣(1977-),男,内蒙古乌兰察布人,副教授,博士,主要研

究方向为钢铁材料组织转变控制;电话:0472-5951572;

E-mail:fdc21@imust.cn

26. 李林涛. 有色金属冶炼废渣中的有价金属可回收技术探讨[J]. 世界有色金属, 2019 (19):9+12.

有色金属冶炼废渣中的有价金属可回收技术探讨

李林涛

(内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 随着工业生产在社会生活中所占的比例越来越大, 极大的丰富了社会的物质财富。但是在工业生产过程中会消耗大量的有色金属资源, 我国有色金属矿产资源的特征是: 金属资源的体量总体较大, 人均金属资源占有量较低。基于此, 本文介绍了有色金属冶炼废渣中和有价金属的相关概念, 并对当前常规回收技术的特点进行探讨, 以期为我国有色金属行业的可持续发展提供一定的理论参考价值。

关键词: 有色金属冶炼, 废渣, 有价金属, 回收

中图分类号: F426.3; F406.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-5065 (2019)19-0009-2

Discussion on the recovery technology of valuable metals from smelting waste residue of nonferrous metals

Li Lin-tao

(Inner Mongolia University of Science & Technology, Neimeigu Baotou 014010, China)

Abstract: With the industrial production in social life in the proportion of more and more large, greatly enriched the material wealth of the society. However, in the process of industrial production, a large amount of non-ferrous metal resources will be consumed. The characteristics of China's non-ferrous metal mineral resources are: the overall volume of metal resources is larger, and the per capita possession of metal resources is lower. Based on this, this paper introduces the concepts of nonferrous metal smelting waste residue and valuable metal, and discusses the characteristics of current conventional recovery technology, in order to provide some theoretical reference value for the sustainable development of nonferrous metal industry in China.

Keywords: nonferrous metal smelting, waste residue, valuable metal, recycling

有色金属矿产资源属于重要的不可再生资源, 在国防工程及人们日常的生产生活中发挥着重要作用, 现阶段我国工业的发展速度十分迅猛, 对有色金属的消耗和需求日益增长^[1]。但我国金属矿产资源储量有限, 从总体上来看, 目前我国金属资源的供给开始呈现短缺趋势。金属作为一种重要的能源资源, 如果不能得到科学、合理、有效的开发利用, 将会影响到我国经济、社会的进一步发展。本文从可持续发展的角度出发, 对金属冶炼后废渣中的有价金属回收技术进行探讨, 旨在做好有色金属资源的二次利用, 使我国对有色金属资源、能源的利用能够形成绿色循环模式^[2]。

1 我国有色金属矿产资源的特点

我国具有海洋和陆地的幅员宽广、地质结构多样的地理特点, 我国已探明的有色金属矿产十分丰富, 比如已探明的铜、铝、锌及各类稀有金属, 其储存总量非常庞大。但是, 我国的人口基数体量巨大, 从人均有色金属占有量上统计, 其占有量相对较低; 而且我国有色金属矿产资源绝大多数属于贫矿, 富矿较少, 其开发难度较大^[3]。以铜矿为例, 我国铜矿床的比例平均品位只约为 0.88%, 大大低于其他一些矿产资源丰富国家的铜矿床品位。

2 有色金属冶炼废渣中及有价金属的概念

(1) 有色金属冶炼废渣。有色金属冶炼废渣是对富含金属的精矿进行冶炼后, 产生的各类工业固体废弃物。如在高

炉冶金过程中产生的高炉废渣以及钢渣, 又或者对有色金属进行冶炼后炼炉里产生的废渣。将有色冶金废渣在进行水淬后, 其物理特性会发生一定变化, 最终形成黑色的颗粒, 且颗粒成分中含有较多的铁化合物^[4]。

(2) 有价金属。有价金属主要是指某些金属在提炼的过程中, 除了主金属之外, 还能够回收利用的其他有价值的金属。工业生产对有色金属进行冶炼后, 其冶炼废渣内残留的贵金属、稀有金属的含量还较高, 将废渣进行有效提取、回收, 可以得到大量有价值的金属^[5]。

3 有色金属冶炼废渣中有价金属可回收技术探讨

对冶炼废渣中的有价金属进行提取, 有利于工业废弃物的资源化利用, 需注意的是应采用科学、合理的回收技术, 才能保证有价金属有较高的回收率, 不会造成资源浪费。目前我国的有价金属回收最为常见的方法有如下几种。

(1) 湿法冶炼。湿法冶炼是依靠化学反应的方式对有色金属进行回收, 其基本原理是: 将有色金属冶炼后的残渣作为处理目标, 通过对其进行酸碱化、电化学等方式处理, 从而保证废渣中的有价金属能够被有效提取。工业生产对冶炼废渣中的有价金属进行回收时, 大多采用的是湿法冶炼工艺, 因为湿法冶炼工艺能够更好地控制溶液情况, 对于要分离的金属元素, 有更好的选择能力, 此外用湿法冶炼的方法所得到的金属纯度较高、回收率也能得到有效保证。

(2) 选冶技术。对有色金属进行冶炼后, 其废渣中有价金属的含量较少时, 采用常规的回收方式, 对有价金属的提取难度大、成本高且回收率低, 此时一般采用选冶技术对其进行回收。应注意的是, 回收有价金属时应根据矿渣特点比如可从矿渣中本身含有的有价金属的物理、化学特性入手, 有针对性的选择合理的回收方法。

(下转 12 页)

收稿日期: 2019-09

作者简介: 李林涛 (1998-), 男 (汉族), 湖南常德人, 本科, 研究方向: 金属材料。

27. 田志华,赵勇桃,姜亚君,张桐,鲁海涛.Ni-Al 复合涂层对 P92 耐热钢高温抗氧化性的影响[J].兵器材料科学与工程,2019,42(06):24-28.

第42卷 第6期
2019年 11月

兵器材料科学与工程
ORDNANCE MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING

Vol.42 No.6
Nov., 2019

Ni-Al 复合涂层对 P92 耐热钢高温抗氧化性的影响

田志华,赵勇桃,姜亚君,张桐,鲁海涛

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010)

摘要 为提高 P92 钢的高温抗氧化性,采用电镀镍+低温粉末包埋渗铝技术,在其表面制备 Ni-Al 双层复合涂层,研究其在 650 °C 下空气中的氧化行为及机理,并与 P92 钢基体的氧化行为做对比分析。用 X 射线衍射仪及配有能谱仪探头的扫描电子显微镜分析涂层氧化前后的显微组织、物相组成及元素沿截面的扩散规律。结果表明:复合涂层的渗铝层致密无孔洞,物相组成物为 Ni-Al 金属间化合物,且由 Ni_2Al_3 到 $\beta\text{-NiAl}$ 的物相转变受 Ni/Al 互扩散控制;经 132 h 氧化后,P92 钢表面生成双氧化层,外层主要为疏松多孔的 Fe_2O_3 ,内层为 $(\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4})_2\text{O}_3$,而 Ni-Al 复合涂层表面则形成保护性的 Al_2O_3 ,在氧化过程中无明显裂纹,具有良好的结构稳定性。包覆 Ni-Al 涂层处理后,P92 钢单位面积氧化增质量由 11 g/m^2 降低到 2.713 g/m^2 ,明显提高 P92 钢的抗氧化性。

关键词 电镀;包埋渗;复合涂层;P92 钢;高温抗氧化性;扩散

中图分类号 TG174.4

文献标志码 A

文章编号 1004-244X(2019)06-0024-05

DOI: 10.14024/j.cnki.1004-244x.20190823.001

Effect of Ni-Al composite coating on high temperature oxidation resistance of P92 heat resistant steel

TIAN Zhihua, ZHAO Yongtao, JIANG Yajun, ZHANG Tong, LU Haitao

(School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract In order to improve the high temperature oxidation resistance of P92 steel, Ni-Al double-layer composite coating was prepared on the surface of P92 steel by nickel electroplating and low temperature embedded aluminizing, and its oxidation resistance and oxidation mechanism at 650 °C were studied in detail. The same anti-oxidation experiment of P92 steel substrate was carried out to make a comparison. X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) equipped with an energy dispersive spectroscopy (EDS) probe were used to analyze the microscopic morphology, phase composition and diffusion of the elements along the cross-section of coatings before and after oxidation. The results show that the prepared coating is dense and non-porous, the phase composition is Ni-Al intermetallic compound, and the phase transition from Ni_2Al_3 to $\beta\text{-NiAl}$ is controlled by Ni/Al interdiffusion. After oxidation for 132 h, a double oxide layer is formed on the surface of P92 steel. The outer layer is mainly loose and porous Fe_2O_3 , the inner layer is $(\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4})_2\text{O}_3$. In contrast, the surface of Ni-Al composite coating forms protective Al_2O_3 film, there is no obvious crack in the oxidation process. After coated with Ni-Al coating, the oxidation weight gain of P92 steel is reduced from 11 g/m^2 to 2.713 g/m^2 , which indicates that it can significantly improve the oxidation resistance of P92 steel.

Keywords plating; embedding; composite coatings; P92 steel; high temperature oxidation resistance; diffusion

由日本新日铁公司开发的 P92 钢为一种新型铁素体耐热钢,具有较高的蠕变极限,被广泛应用于超超临界火电机组的过热器、再热器、水冷壁、联箱及蒸汽管道等高温部件^[1-3]。当温度大于 630 °C 时,P92 钢不能生成保护性的 Cr_2O_3 薄膜,抗氧化性急剧下降^[3]。鉴于此,国内外早期成功制备出 Fe-Al 单渗铝涂层(如 FeAl 、 Fe_2Al_3),通过生成具有黏附性的 Al_2O_3 薄膜提高钢件的抗氧化性^[4-5]。然而,Fe-Al 涂层脆,易产生拉伸裂纹,严重影响其在高温高压条件下的服役性能^[6-7],同时由于涂层与钢基体相互扩散过快,涂层结构稳定性较差,

不适合长期使用^[6,8]。近年来,有序 Ni-Al 金属间化合物由于具有高熔点、良好的抗氧化性、高导热性及低密度等优点,在高温领域引起广泛关注。因此,研究者试图将 Ni-Al 金属间化合物直接作为保护性的涂层材料,常见的制备方法有热喷涂、磁控溅射、电子束物理气相沉积和激光熔覆等^[9-13]。然而,涂层寿命是由涂层/基体界面处的相互扩散速率决定的,一旦 Al 含量下降到临界水平,在氧化膜破裂后无法重新生成完整致密的保护膜,使涂层过早失效。为此,有研究者提出制备 Ni-Al 双层复合涂层,纯镍层用于阻碍 Fe、Al 的相互

收稿日期:2019-06-26;修回日期:2019-08-22

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金(2017MS(LH)0518);内蒙古科技大学大学生科技创新基金(2017033)

作者简介:田志华,男,硕士研究生;研究方向为金属材料表面改性。E-mail:tz4796@163.com。

通信作者:赵勇桃,女,博士,教授;研究方向为金属材料的组织转变及热加工工艺。E-mail:zyt0011@126.com。

28. 姚兆凤,王海燕,贺兆海,梁梦斐,阮翔.变形温度对含铌微合金钢显微组织与硬度的影响[J].内蒙古科技大学学报,2018,37(04):359-363.

2018年12月
第37卷第4期

内蒙古科技大学学报
Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology

December, 2018
Vol.37, No.4

文章编号:2095-2295(2018)04-0359-05

DOI:10.16559/j.cnki.2095-2295.2018.04.011

变形温度对含铌微合金钢显微组织与硬度的影响*

姚兆凤¹,王海燕^{1,2},贺兆海¹,梁梦斐¹,阮翔¹

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古包头 014010;2. 内蒙古自治区白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室,内蒙古包头 014010)

关键词:铌;微合金钢;热变形;变形温度

中图分类号:TG156.1 文献标识码:A

摘要:含铌微合金钢广泛应用于管线钢、汽车板材钢和钢轨,其优良的性能可以达到对钢材硬度、韧性、抗腐蚀性的要求。随着管线工程、汽车工业、铁路的迅速发展,对含铌微合金钢的研究也更加重要。以含铌微合金钢为研究对象,利用Gleeble-1500D型热模拟机在不同变形温度下对实验钢进行热变形,分析得到应力应变曲线;通过蔡司金相显微镜,观察实验钢的金相组织和原奥氏体组织,并统计晶粒尺寸的大小;采用维氏硬度计对实验钢的硬度进行了测量;显微组织观察表明,经热变形处理后,实验钢的主要组织类型为铁素体和板条状贝氏体;在相同条件下,随着变形温度的升高,得到的奥氏体晶粒越大,硬度越低。

Effect of deformation temperature on microstructure and hardness of Nb microalloyed steels under thermal deformation

YAO Zhao-feng¹, WANG Hai-yan^{1,2}, HE Zhao-hai¹, LIANG Meng-fei¹, RUAN Xiang¹

(1. Materials and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Key Laboratory of Integrated Exploitation of Bayan Obo Multi-Metal Resource, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Key words: Nb; microalloyed steels; hot deformation; deformation temperature

Abstract: Nb Microalloyed steels are widely used in pipeline steel, automobile plate steel and rail, and their excellent performance can meet the requirements for steel hardness, toughness and corrosion resistance. The research on Nb Microalloyed steels has become more and more important with the rapid development of pipeline engineering, automobile industry and railway. Nb Microalloyed steel was used as the research object, the experimental steel was hot deformed by using Gleeble-1500D thermal simulator at different deformation temperatures, and the stress and strain curves were analyzed. The microstructure and original Austenite microstructure of the experimental steel were observed using the microscope of Zeiss, and the size of the grains was calculated. The hardness of the experimental steel was measured with Vickers hardness tester. The microscopic observation showed that the main microstructure of the experimental steel is ferrite and lath-like Bainite after heat deformation treatment. Under the same conditions, with the increase of deformation temperature, the larger the Austenite grains are, the lower the hardness is.

微合金钢是近年来迅速发展起来的具有高性能钢铁工业中的主力产品^[1]。由于合金元素 Nb 对微合金钢的发展和用起了重要的作用,使得很多应

* 收稿日期:2018-08-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51101083);内蒙古自治区重大基础项目资助项目(201503001-4-2)。

作者简介:姚兆凤(1992-),女,安徽桐城人,内蒙古科技大学硕士研究生,研究方向为优势资源先进材料的研究开发。

通讯作者:王海燕(1970-),女,内蒙古包头人,内蒙古科技大学教授,博士。

29. 王海燕,姚兆凤,贺兆海,刘宗昌,高雪云.Fe-RE 系合金的力学谱特征[J].稀土, 2018, 39(02):108-113.

第39卷第2期
2018年4月

稀 土
Chinese Rare Earths

Vol. 39, No. 2
April 2018

Fe-RE 系合金的力学谱特征

王海燕*, 姚兆凤, 贺兆海, 刘宗昌, 高雪云

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 包头 014010)

摘 要:利用多功能内耗仪测量,分析了不同稀土含量对 Fe-RE 系合金内耗峰的影响,在此基础上,探讨了稀土在纯铁晶界处的存在状态与微合金化机理。结果表明,纯铁在 551.4 °C (频率为 2 Hz) 出现纯铁晶界峰;当纯铁中稀土含量为 0.0084% 时,纯铁晶界峰接近于消失,峰温不变,峰值减小,说明有部分稀土固溶在晶界处;当稀土含量为 0.0135% 时,出现固溶晶界峰和第二相沉淀晶界峰,此时稀土以固溶形式和第二相沉淀的形式存在于晶界。

关键词:稀土; Fe-RE 系; 内耗; 微合金化

中图分类号: TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2018)02-0108-06

随着钢铁冶炼技术的不断进步,稀土元素在钢中的微合金化作用变得日益突出,搞清稀土在钢铁材料中的作用规律,对于充分发挥稀土在钢中的微合金化作用具有重要理论与现实意义。稀土在钢中微合金化行为研究的前提是对稀土的存在形式及作用机理进行精确测定与表征,这是稀土钢研究中亟待解决的问题^[1-3]。然而,由于稀土理化性质的特殊性,极易受到钢中氧及其它杂质元素的干扰,导致在实际研究中,稀土在钢中的固溶量、夹杂物尺寸、分布稳定性的控制、存在状态的精确表征较为困难。

Darken-Gurry 图(周期表元素负电性-原子半径图)观察表明,稀土在铁中的固溶处于溶解度椭圆外,说明其溶解度很小。Darken-Gurry 图的依据是元素负电性及原子半径,其表示的固溶度是在固态

下按统计规律分布于基体元素晶格点阵上的溶质含量,并不包括偏聚在晶界、位错、亚晶界等处的稀土原子,也不包含以金属间化合物存在的稀土。目前,测得 La 在 α -Fe 中固溶度最多为 0.2%, 在 γ -Fe 中固溶度为 0.4%; Ce 在 α -Fe 中固溶度最多为 0.4%, 在 γ -Fe 中固溶度为 0.5%^[6-7]。合金的内耗检测是反应极其灵敏的物理检测手段,可表征动态升温或降温过程中固体内部微观结构的变化过程。研究表明^[8-11],原子固溶于晶界、位错等缺陷处,或与基体元素原子作用,与其他微量元素相互作用形成第二相沉淀或发生其他固态反应,都将导致内耗谱的改变,可以由此揭示铁基材料内耗峰变化的原子层面作用机理。

本文将采用内耗检测手段,以纯铁为基体,避

收稿日期:2016-02-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51101083);内蒙古自然科学基金项目(2017MS0508)

作者简介:王海燕(1975-),女,内蒙古包头人,博士,教授,从事高性能高精度钢铁材料机理研究与开发。

* 通讯联系人(E-mail:wishflower126@163.com)

DOI:10.16533/j.cnki.15-1099/TF.201802015

30. 李新乐,许哲,范宜哲.添加稀土对 IF 钢中距表面二分之一处夹杂物的影响[J].山东工业技术,2018(02):38.

添加稀土对 IF 钢中距表面二分之一处夹杂物的影响

李新乐,许哲,范宜哲
(内蒙古科技大学,内蒙古包头 014010)

摘要: IF 钢是在低碳钢中熔入适量的 Ti、Nb 元素,有较好深冲性能,无时效性,钢制品成品率高,普遍应用于汽车、电子等,但钢中夹杂物会破坏基体均匀性,造成基体内部应力集中,产生微裂纹,危害钢的塑性、冲击韧性和疲劳性能;IF 钢,对钢质洁净度要求较高,而稀土在钢中可以起到净化作用。

关键词: IF 钢;稀土元素;夹杂物形态
DOI:10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.02.032

1 距表面二分之一处夹杂物分析

IF 钢中夹杂物主要是冶炼过程中的 S、N 元素析出 TiN、MnS 等化合物,影响钢质洁净度;高强 IF 钢对钢洁净度要求较高,而稀土元素可以在钢中起到净化作用。本文主要研究稀土 La 元素对 IF 钢距表面二分之一处夹杂物存在状态的影响,包括夹杂物形态大小及分布,取两组材料中试样,对锻锭距上表面二分之一厚度处进行观察,对平面上夹杂物进行形貌和能谱分析。

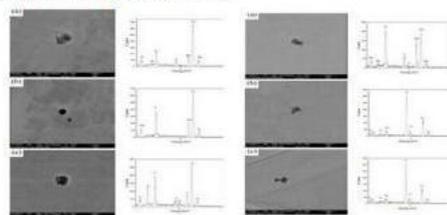


图 1 1.2 组距表面二分之一处试样中夹杂物微观形貌和成分

上图是夹杂物分布照片,由图 1 明显看出,1 组试样宏观分布上大尺寸夹杂物数量多于 2 组试样,1 组试样的大小尺寸夹杂物共同分布在基体上,且分布相对集中一些;而 2 组加入稀土试样的细小的夹杂物呈弥散分布。

表 1 1.2 组距表面二分之一处试样中夹杂物的化学成分

位置	化学成分								
	N	S	O	Ti	Nb	Mn	Al	Fe	La
a	--	19.31	3.09	7.09	--	26.55	1.34	47.80	--
b	11.24	--	--	50.02	3.70	--	1.32	34.61	--
c	16.47	--	--	53.07	1.26	--	0.56	27.95	--
a	--	12.00	--	3.00	--	10.77	--	74.13	--
b	--	17.88	--	--	--	19.89	--	64.52	--
c	--	14.92	16.60	--	--	12.69	13.83	39.36	2.58

分别对上图夹杂物不同部位进行能谱分析,通过表 1 可知(a)、(b)图中夹杂物圆形部位的主要成分为 MnS,多边形部位主要结构组成为 TiN-FeTi,结合实验数据可知两种夹杂物主要组成均为 MnS-TiN-FeTi。(c)图夹杂物为矩形,主要成分为 TiN-FeTi,其中 TiN 为主要组成。

图 1 中 12 组含稀土试样中夹杂物形貌与能谱分析结果,该层夹杂物以 MnS 主要组成,同时发现含稀土 La 夹杂物,如图(c)所示(a)图中夹杂物为复合夹杂物,形貌上具有明显的分层,其化学组成为 MnS-TiS。(b)图中夹杂物化学组成为 MnS,形貌上保持典型的球形。(c)图中夹杂物为含稀土夹杂物,其主要成分是 $LaAlO_3-MnS-Al_2O_3$,该夹杂物中左上方颜色相对较亮,为含稀土的 $LaAlO_3$ 部分,外围包裹的部分主要化学成分是 MnS,整体形貌为趋近圆形。

根据不同夹杂物热力学析出公式,分析基体上夹杂物的种类,得出 1 组试样包含的夹杂物种类,如:TiN、TiN- Al_2O_3 -TiFe、TiN-MnS- Al_2O_3 -TiO₂复合型夹杂,其中 MnS 作为钢中常见夹杂物,在 1 组钢中形貌主要以圆形为主,并与 TiN、 Al_2O_3 形成复合夹杂物。TiN 是 IF 钢中常见的夹杂物,其尺寸较小,形貌以立方体形状存在,在 1 组钢中有规则矩形的纯 TiN 颗粒,也有与 Al_2O_3 、MnS 形成复合夹杂共存的颗粒,在一侧仍保留矩形边缘,虽然 TiN 形成夹杂物后同样起到了固定钢中间隙原子 N 的作用,但是当成品板在受力状态下,因 TiN 夹杂或复合夹杂颗粒尺寸大,具有尖锐边缘,影响钢材的冲击韧性和疲劳寿命,并且 TiN 夹杂的形成,会降低 Ti 的析出强化作用,同样对 IF 钢的抗拉强度产生影响。

2 结论

- (1) 在含稀土钢中,由于稀土可以起到净化钢液的作用,减少夹杂物数量,可降低 TiN 的形核机会。
- (2) 在含稀土钢中发现 MnS 夹杂物,形貌以圆形为主;不同厚度平面上未发现单 TiN 夹杂物,都是与其他类型夹杂物形成复合夹杂物存在,形貌以不规则形为主。
- (3) 加稀土 La 的 IF 钢的夹杂物宏观上呈弥散分布,整体夹杂物尺寸较小,得出 2 组试样夹杂物主要以 MnS 夹杂、 Al_2O_3 -MnS-TiN 复合型夹杂和含稀土夹杂物为主。
- (4) 在含稀土钢中发现除了常规夹杂物外,在复合夹杂物中发现稀土元素 La,夹杂物类型有两种: La_2O_3 和 $LaAlO_3$,形貌多为圆形,降低夹杂物在钢中的危害作用^[1]。

参考文献:

- [1] 杨晓红等.特殊钢中稀土夹杂物行为研究[J].中国稀土学报,2010.

31. 郑梦珠,王海燕,李德超,刘宗昌,吴志峰,邹存哲.Fe-RE 系高纯净钢的 γ - α 多型性转变[J].稀土,2017,38(04):1-6.

Fe-RE 系高纯净钢的 γ - α 多型性转变^{*}

郑梦珠^{1,2}, 王海燕^{1,2*}, 李德超¹, 刘宗昌¹, 吴志峰¹, 邹存哲¹

1. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:采用 QUANTA-400 型扫描电子显微镜与 JEM JEOL-2010 透射电子显微镜进行金相组织观察,研究了固溶 La 对 Fe-RE 系高纯钢过冷奥氏体组织形貌转变过程的影响规律。结果表明,采用极快速冷却淬火时,高纯净钢将发生较为平衡的 γ - α 多型性转变,该转变按块状相变方式进行;La 添加后,对 γ - α 多型性转变与块状相变具有明显地促进作用。块状相变在晶界处形核,然后迅速长到母相,其显微组织呈现条片状或针状形貌。TEM 组织观察表明,块状相变组织的晶界呈不规则形态,且具有层状的特征。

关键词:稀土; 高纯净钢; γ - α 转变

中图分类号: TG142.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-0277(2017)04-0001-06

稀土在铁及铁合金中可以以固溶状态存在,具有强烈控制铁中 P、N、C 的强(微)合金化作用,并在固态扩散反应中可以强制固溶^[1,2]。稀土加入钢中,会改变钢的临界点,影响过冷奥氏体转变热力学与动力学,这与固溶稀土的微合金化作用密切相关^[3,4]。稀土在钢中微合金化行为研究的前提是对稀土的存在形式及作用机理进行精确测定与表征,这是稀土钢研究中亟待解决的问题^[5-7]。然而,由于稀土理化性质的特殊性,极易受到钢中氧及其它杂质元素的干扰,导致在实际研究中,稀土在钢中的固溶量、夹杂物尺寸、分布稳定性的控制、存在状态的精确表征较为困难。目前,稀土钢中相变规律的影响尚缺乏系统的研究报道。

本文将基于高纯钢体系,避免钢中 O、S 及其它杂质元素的干扰,通过对含 La 高纯净钢的显微组织观察与分析,研究微量 La 添加后,Fe-RE 系高纯钢 γ - α 过冷奥氏体转变过程的组织演变规律,揭示 La 对相变过程影响的微观机理,为研制新型高附加值 La 微合金钢提供理论与实验依据。

1 实验部分

实验钢在 25 kg 真空感应炉中炼制,腔体抽真空至 10^{-3} Pa 后压入纯 La 与铁,进行不同 La 含量系列高纯净钢的熔炼,以及去氧等终处理。同时,炼制未添加 La 高纯钢用于比较性实验。实验材料的化学成分如表 1 所示。

* 收稿日期: 2015-06-22

基金项目: 国家自然科学基金(51101083); 内蒙古自然科学基金(2017MS0508)

作者简介: 郑梦珠(1990-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 从事优势资源高性能金属材料的研究与开发。

* 通讯联系人(E-mail: windflower126@163.com)

32. 刘智彪,王海燕,高雪云,吴志峰,邹存哲.高锰钢的过冷奥氏体转变特征与强化行为研究[J].内蒙古科技大学学报,2016,35(01):47-49+58.

2016年3月
第35卷第1期

内蒙古科技大学学报
Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology

March, 2016
Vol.35, No.1

文章编号: 2095-2295(2016)01-0047-03

DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2016.01.011

高锰钢的过冷奥氏体转变特征与强化行为研究*

刘智彪^{1,2}, 王海燕^{2,3}, 高雪云^{2,3}, 吴志峰², 邹存哲²

(1. 北方联合电力有限责任公司包头第一热电厂, 内蒙古包头 014010; 2. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古包头 014010; 3. 广东省现代焊接技术重点实验室, 广州 510650)

关键词: ZGMn13; 过冷奥氏体; 相变; 孪晶

中图分类号: TG142.1 文献标识码: A

摘要: 研究高锰钢中过冷奥氏体的组织转变特征具有理论与实际意义。本文采用金相显微镜、QUANTA400 环境扫描电子显微镜、JEOL-2100 型透射电子显微镜对 ZGMn13 过冷奥氏体在高温和低温区转变产物的组织形貌进行观察。结果表明, ZGMn13 钢经水韧处理后得到奥氏体组织, 其中存在较多的孪晶。在珠光体转变温度和碳化物快速析出的高温区进行等温, 会得到珠光体和马氏体组织, 以及大量残余奥氏体和孪晶, 表明 Mn13 钢过冷奥氏体由高温区到低温区转变分别获得单相奥氏体组织、珠光体组织和马氏体组织, 该过程伴随大量孪晶和残留奥氏体生成, 孪晶将奥氏体基体分割成许多区域, 区域内又产生很多孪晶, 对基体起到不同程度的强化作用。

The super-cooling austenitic phase transformation and strengthening behavior of high manganese steel

LIU Zhi-biao^{1,2}, WANG Hai-yan^{2,3}, GAO Xue-yun^{2,3}, WU Zhi-feng², ZOU Cun-zhe²

(1. The First Power Station of Baotou, North United Electric Power Co. Ltd., Baotou 014010, China; 2. Materials and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 3. Key Laboratory of Modern Welding Technology of Guangdong Province, Guangdong General Research Institute for Industrial Technology, Guangzhou 510650, China)

Key words: ZGMn13 steel; Super-cooling austenite; phase transformation; twins

Abstract: It is theoretically significant to investigate the pearlite transformation and martensitic transformation of Mn13 steel. The optical microscope, scan electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM) were used to observe the morphology and structure of the supercooling austenite product of Mn13 steel in high-temperature and low-temperature zone. The results show that austenite and twins were obtained after water toughening treatment on Mn13 steel; pearlite and martensite were obtained when the steel hold isothermally in the high-temperature zone of the pearlite transformation temperature, and a great deal of residual austenite and twin crystal were also obtained, which proves that a large number of twins are accompanied with supercooling austenite transformation in ZGMn13 steel; and austenite matrix will be divided into many regions by twin, playing a significant role in matrix strengthening.

火力发电厂的磨煤机是制备煤粉的关键设备, 其优点是对煤种的适应性强, 单台出力高, 且检修周期长。然而, 在磨煤机服役过程中, 筒体衬板在长时间冲击和磨损后, 会出现衬板断裂、磨漏和脱落等情

况, 不仅影响机组的安全运行, 也增加了检修维护成本。目前所广泛使用的三大类金属耐磨材料有奥氏体锰钢、低合金高强度耐磨钢和高铬铸铁及白口铸铁。在一定冲击载荷条件下, 高锰钢在抵抗强冲击、

* 收稿日期: 2015-10-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51261018); 广东省现代焊接技术重点实验室开放课题基金资助项目。

作者简介: 刘智彪(1975-), 男, 内蒙古包头人, 内蒙古科技大学硕士研究。

通讯作者: 王海燕(1975-), 女, 内蒙古包头人, 内蒙古科技大学教授。

33. 刘智彪,王海燕,陈树明,高雪云,吴志峰.热电厂给水管用含铜钢的形变析出强化行为研究[J].内蒙古科技大学学报,2016,35(02):172-175.

2016年6月
第35卷第2期

内蒙古科技大学学报
Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology

June, 2016
Vol.35, No.2

文章编号:2095-2295(2016)02-0172-04

DOI:10.16559/j.cnki.2095-2295.2016.02.018

热电厂给水管用含铜钢的形变析出强化行为研究*

刘智彪¹,王海燕²,陈树明³,高雪云^{2,3},吴志峰²

(1. 北方联合电力有限责任公司包头第一热电厂,包头 014010;

2. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,包头 014010;

3. 内蒙古自治区白云鄂博矿多金属资源综合利用重点实验室,包头 014010)

关键词:含铜钢;热变形;正交实验;析出强化

中图分类号:TG142.1 文献标识码:A

摘要:使用 Gleeble-1500D 热模拟机,通过正交试验法对含铜低碳钢进行形变-析出强化工艺试验,利用扫描电子显微镜观察钢的显微组织,借助显微硬度计测试了钢的硬度,研究了变形温度、变形量和变形速率对试验钢强化效果的影响。结果表明:影响试验钢强化效果的主次顺序为变形量、变形温度、变形速率;趋势图显示,本实验条件下的最优方案为 221 组合,即 880℃ 温度变形,变形量 50%,变形速率 3S⁻¹,以上结果可为热电厂给水管用钢的生产工艺控制提供实验依据。

Strain precipitation strengthening of Cu-containing steel for water supplying pipe in power plant

LIU Zhi-biao¹, WANG Hai-yan², CHEN Shu-ming³, CAO Xue-yun^{2,3}, WU Zhi-feng²

(1. Baotou First Power Plant, North United Power Co. Ltd., Baotou 014010, China;

2. Materials and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;

3. Key Laboratory of Integrated Exploitation of Bayan Obo Multi-Metal Resource, Baotou 014010, China)

Key words: Cu-containing steel; hot deformation; orthogonal experiment; precipitation strengthening

Abstract: Hot simulation on Cu containing low carbon steel was carried out to obtain its strengthening characteristics through strain hardening and precipitation process by means of orthogonal experiment, and Gleeble-1500D hot simulator was used for hot compression test. Microstructure of high purity steel containing copper was investigated by using scan electron microscope (SEM), and hardness was characterized by micro-hardness measurements. The effects of deformation temperature, reduction and deformation rate on the enhancement of the steel were analyzed by variance calculation. The result showed that strength of the steel was improved by strain inducing strengthening, which has relation with deformation temperature, reduction and deformation rate. The order of the three factors affecting the strengthening of the test steel is as follows: deformation rate, deformation temperature, and strain rate, which may provide experimental basis for the production process control of the steel for water supplying pipe in power plant.

近年来,铜在钢中的析出强化作用越来越受到材料研究者的重视^[1-3]。含铜钢热加工后再经过时效处理,组织中细小而弥散分布的 Cu 析出物能使钢的强度得到大幅提升。在低合金钢中添加

1.1% Cu,可使抗拉强度水平高于 700 MPa。Takahashi 等开发的含 Cu 管线钢,当 Cu 含量超过在 α -Fe 中的最大溶解度 2.2% Cu 后,屈服强度接近 700 MPa^[4]。在对含 Cu 无间隙原子 (IF) 钢的研究中发

* 收稿日期:2016-01-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51101083);广东省现代焊接技术重点实验室开放课题基金资助项目

作者简介:刘智彪(1975-),男,内蒙古包头人,包头第一热电厂工程师。

34. 安小凡,王海燕,陈树明,陈林,郑梦珠,吴志峰.空气射流冷却条件下BNbRE 钢轨温度场分布[J].金属热处理,2016,41(12):173-177.

空气射流冷却条件下 BNbRE 钢轨温度场分布

安小凡¹, 王海燕^{2,3}, 陈树明³, 陈林², 郑梦珠^{2,3}, 吴志峰²

1. 包头钢铁职业技术学院 机械系, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古科技大学 工业技术研究院, 内蒙古 包头 014010

摘要: 采用 Fluent 软件, 基于标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型对 BNbRE 钢轨在空气射流冷却过程的流场和温度场进行了有限元模拟, 讨论了不同冷却风速(100、200 m/s)下钢轨二维模型的温度场及传热特性变化规律。结果表明: 随着风速提高, 钢轨表面传热系数增大, 换热效果增强; 对于风速为 100 m/s 的情况, 当冷却时间达到 80 s 时, 上部射流与壁面冲击后产生的贴壁气流分散到两侧, 会影响下部射流方向; 当风速为 200 m/s, 冷却时间为 40 s 时, 贴壁气流已明显影响了两侧下部射流; 将风速从 100 m/s 提高到 200 m/s 后, 钢轨的冷却速率明显加快, 表面终冷温度从 543 °C 降至 358 °C, 平均冷却速率也由 2.55 °C/s 增加至 4.42 °C/s, 这对于满足钢轨淬火冷却工艺的要求, 从而控制最终组织具有重要理论指导意义。

关键词: BNbRE 钢轨; Fluent 软件; 空气射流冷却; 温度场

中图分类号: TG142.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2016)12-0173-05

Temperature field distribution of BNbRE steel rail during air-jet cooling

An Xiaofan¹, Wang Haiyan^{2,3}, Chen Shuming³, Chen Lin², Zheng Mengzhu^{2,3}, Wu Zhifeng²

1. Department of Mechanical Engineering, Baotou Iron and Steel Vocational Technical College, Baotou Inner Mongolia 014010, China;
2. School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China;
3. Industrial Technology Research Institute, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: Flow and temperature fields of BNbRE steel rail during air jet cooling process was calculated by Fluent software based on the standard $k-\varepsilon$ turbulence model, 2D models temperature field and the heat transfer characteristics change of the rail under different wind speed cooling (100, 200 m/s) was discussed. The results show that the rail surface heat transfer coefficient increases, and heat transfer enhances with the wind speed increasing. Under 100 m/s inlet velocity condition, when the cooling time reaches 80 s, the gas dispersion produced by the upper jet impact with the wall will affect the lower part jet direction. Compared with the former, when the inlet velocity is 200 m/s and the cooling time is 40 s, the adherent air flow significantly affect both sides of the lower part of the jet. The cooling rate of rail is significantly increased when the inlet velocity increased from 100 m/s to 200 m/s, the final cooling temperature decreased from 543 °C to 358 °C, the average cooling rate increased from 2.55 °C/s to 4.42 °C/s. The model has important significance for the requirements of rail quenching process, thereby controlling the final microstructure.

Keywords: BNbRE steel rail; Fluent software; air-jet cooling; temperature field

随着铁路运输的不断发展,列车运行速度和轴重等不断提高,这对钢轨质量和性能提出了更高的要求,除了钢轨轨面的平顺度必须提高,轨头的抗接触疲劳性能和抗剪切应力性能也应改善^[1-3]。目前,我国使用的钢轨主要为珠光体或贝氏体型钢轨,通过合金化以及适当的热处理可使钢轨的抗拉强度达到 1200 ~ 1300 MPa,并具有较好的抗疲劳性与耐磨性,合理的热

处理方式是提高钢轨强韧性的有效手段。钢轨的热处理一般有喷雾冷却和压缩空气冷却两种冷却方式。其中,利用压缩空气对钢轨进行离线或在线余热淬火不仅可提高其力学性能和相稳定性,还可以克服水雾冷却存在的控制困难和喷嘴易堵等问题。

近年来,BNbRE 新一代高强度钢轨得到了成功开发与广泛使用,众多学者进行大量研究并得到了有意义的结果,钢轨连续冷却过程中的组织变化对于钢轨的性能具有重要影响^[4]。采用空气冷却,射流在直接冲击钢轨表面时,流程短且被冲击表面上的流动边界层薄,在滞止点附近有很高的局部换热系数,可使直接受冲击的区域产生很强的换热效果,达到与水雾冷却相当的冷却速率,是一种极其有效的强化传热方

收稿日期:2016-06-21

基金项目:国家自然科学基金(51361021);广东省现代焊接技术重点实验室 2015 年开放课题基金

作者简介:安小凡(1972—),男,高级讲师,硕士,主要从事高性能高精度钢铁材料研究,联系电话:13284712228, E-mail: windflower126@163.com

doi:10.13251/j.issn.0254-6051.2016.12.036

35. 赵娜娜,李振亮,刘飞,袁爱萍,贾国栋,杨苏冰.喷射沉积高 Ca 镁合金热变形行为研究[J].特种铸造及有色合金,2015,35(07):754-758.

——轻有色金属—— 特种铸造及有色合金 2015年第35卷第7期

喷射沉积高 Ca 镁合金热变形行为研究

赵娜娜¹ 李振亮¹ 刘飞¹ 袁爱萍¹ 贾国栋¹ 杨苏冰²

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院;2. 北京科技大学冶金与生态工程学院)

摘 要 采用喷射沉积技术制备 Mg-9Al-3Zn-1Mn-6Ca 镁合金沉积坯,并对其进行挤压预变形和二次热压缩变形,研究热变形过程中再结晶、超塑性之间的微观组织演变。结果表明,二次热压缩变形后的镁合金在 350 ℃、0.002 s⁻¹ 变形速率条件下,实现了镁合金超塑性压缩变形,外缘圆周伸长率达到 103.96%;超塑性变形发生时伴随着动态再结晶发生,且当加工硬化速率与软化速率达到动态平衡时会出现压缩超塑性。350 ℃ 时变形速率是影响高 Ca 镁合金超塑性的主要因素。

关键词 喷射沉积;镁合金;再结晶;超塑性

中图分类号 TG146.22

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2015.07.025

Hot Deformation Behavior of High-Ca Magnesium Alloy Produced by Spraying Deposition

Zhao Nana¹, Li Zhenliang¹, Liu Fei¹, Yuan Aiping¹, Jia Guodong¹, Yang Subing²

(1. School of Material and Metallurgy, University of Science and Technology Inner Mongolia;

2. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing)

Abstract: The Mg-9Al-3Zn-1Mn-6Ca alloy billets were produced by spraying deposition method (the Osprey process). The microstructure evolution between recrystallization and superplasticity of the deposited billets prepared was observed during pre-deformation and compression deformation. The results show that the superplastic compression deformation can be observed at 350 ℃ and 0.002 s⁻¹, and the elongation of outer edge of circumferential reaches up to 103.96%. Superplastic behavior, in which the hardening rate and the dynamic softening rate realize dynamical equilibrium, is accompanied with the occurrence of dynamic recrystallization at 350 ℃, and the strain rate is the key to the superplastic compression deformation in hot-extruded magnesium alloys modified by high-Ca alloying.

Key Words: Spraying Deposition, Magnesium Alloy, Recrystallization, Superplasticity

镁合金被广泛应用于航空航天、电子、汽车等领域^[1-3]。但镁为 HCP 结构,塑性变形过程影响机理比较复杂,在挤压及板材轧制过程中易形成基面平行于挤压方向或轧制板面的强烈初始织构,表现出较差的塑性。镁合金的变形行为与再结晶、超塑性之间是密切相关的^[4-7],动态再结晶是 AZ31 镁合金高温压缩过程中晶粒细化的主要影响因素,而非基面滑移系的开动是 AZ31 镁合金塑性提高的主要原因,并且镁合金热变形过程中有拉伸超塑性和压缩超塑性两种行为。喷射沉积技术制备的镁合金具有晶粒细小、综合力学性能优良等特点,在此类镁合金中弥散分布着大量热稳定性高的微米级第二相粒子(Al₂Ca 等),其参与塑性变形并能形成 Al₂Ca 孪晶^[8-10]。由于镁合金在实际生产中更多的是压缩成形或锻压成形,因此镁合金压缩超塑性的研究更具实际意义。镁合金热压缩变形过程中变形行

为及微观组织结构的演变仍需深入研究,其中对快速凝固高 Ca 合金化镁合金中压缩超塑性的研究报道很少。

本课题以高 Ca 合金化喷射沉积镁合金沉积坯为试验材料,进行热挤压预变形和二次热压缩变形,重点研究热变形过程中微观组织与再结晶、超塑性之间的关系,为新型镁合金的开发及应用提供参考。

1 试验材料与方法

试验选用 Mg-Al-Zn 系镁合金为研究对象,其名义化学成分(质量分数,下同)为:9%的 Al,3%的 Zn,6%的 Ca,1%的 Mn,余量为 Mg。首先在 Osprey 喷射沉积设备上制备沉积坯,将沉积坯机械加工,用 8 000 kN 挤压机热挤压成直径为 φ10 mm 的圆棒,挤压温度为 340 ℃,挤压比为 16:1,此挤压坯用作研究的基料。随

收稿日期:2015-01-14;修改稿收到日期:2015-03-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51364032)

第一作者简介:赵娜娜,女,1990 年出生,硕士研究生,内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古包头(014010),电话:15049210197, E-mail: 734902632@qq.com

通信作者:李振亮,男,1968 年出生,教授,内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古包头(014010),电话:13848261235, E-mail: lzlying@126.com

十一、学生申请专利（授权专利 14 项）

1. 武利,沈鸿葵,杨小博,高启新,毛贺,毛越. 一种金属材料的断开切割装置, 实用新型专利, 授权公布号: CN215392783U, 授权公告日: 2022,01,04.
2. 龚志华,麻永林,沈鸿葵,李康雪,潘浩,王云海.一种电磁能中铸管浇铸装备, 实用新型专利,授权公布号: CN214442897U, 授权公告日: 2021,10,22.
3. 李康雪. 夹具(圆柱金属试样),外观设计专利,授权公布号: CN306557926S, 授权公告日: 2021,05,25.
4. 李康雪,李涛. 实验台(材料), 外观设计专利,授权公布号: CN306428594S, 授权公告日: 2021,04,02.
5. 沈鸿葵.夹具(金属磨样), 外观设计专利,授权公布号: CN306429023S, 授权公告日: 2021,04,02.
6. 杨明,沈鸿葵,牛跃龙.放置架(陶瓷片),外观设计专利,授权公布号: CN306397298S, 授权公告日: 2021,03,23.
7. 陈颖,况家瑾,于永波.一种避免破碎飞溅的耐火材料破碎机, 实用新型专利,授权公布号: CN211436541U, 授权公告日: 2020,09,08.
8. 刘天泽.一种磁吸金属镀层结合力降落实验装置, 实用新型专利,授权公布号: CN20970755U, 授权公告日: 2019,11,29.
9. 刘笛.一种便于清理的清洁装置,实用新型专利,授权公布号: CN207912643U, 授权公告日: 2018,09,28.
10. 周载盛,王树峰,高丽媛,李新乐,陈明杰.一种新型坚果破壳装置,实用新型专利,授权公布号: CN207721158U, 授权公告日: 2018,08,14.
11. 张亚彬,张建飞,郭文英,姜丙亚,李新乐,白凤龙,辛毅.用于制造定向凝固铸件的装置,实用新型专利,授权公布号: CN207358146U, 授权公告日: 2018,05,15.
12. 贾永杰.金属疲劳度测试卡扣,外观设计专利,授权公布号: CN304557745S, 授权公告日: 2018,03,30.
13. 李振亮,董振域,王树彤,孙金玲,赵志浩,刘智威.一种能自动定时、定量布放的鱼料胶囊,发明专利,授权公布号: CN105660501B, 授权公告日: 2018,04,24.

14. 李振亮,王树彤,董振域,孙金玲,赵志浩,刘智威.一种自动喂鱼装置,实用新型专利,专利号: ZL201620094072, 授权公告日: 2018,01,11.

1. 2022 年 一种金属材料的断开切割装置（沈鸿葵） 实用新型专利



一种金属材料的断开切割装置

专利类型: 实用新型

申请(专利)号: CN202120111606.8 申请日: 2021-01-15

授权公布号: CN215392783U 授权公告日: 2022-01-04

申请人: 内蒙古科技大学

地址: 014020 内蒙古自治区包头市昆区阿尔丁大街7号

发明人: 武利; 沈鸿葵; 杨小博; 高启新; 毛翼; 毛越

专辑: 工程技术 I 辑

专题: 金属学及金属工艺

分类号: B23D19/00;B23D33/02

主分类号: B23D19/00 国省代码: 15

页数: 8

代理机构: 成都鱼爪智云知识产权代理有限公司 代理人: 赵辰宇

2. 2021 年 一种电磁能中铸管浇铸装备（王云海） 实用新型专利



一种电磁能中铸管浇铸装备

专利类型: 实用新型

申请(专利)号: CN202120671677.3 申请日: 2021-04-01

授权公布号: CN214442897U 授权公告日: 2021-10-22

申请人: 内蒙古科技大学

地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆区阿尔丁大街7号

发明人: 龚志华; 麻永林; 沈鸿葵; 李康雪; 潘浩; 王云海

专辑: 工程技术 I 辑

专题: 金属学及金属工艺

分类号: B22D9/00;B22D27/02

主分类号: B22D9/00 国省代码: 15

页数: 10

代理机构: 北京律远专利代理事务所(普通合伙) 代理人: 全成哲

3. 2021 年 夹具（圆柱金属试样）（李康雪） 外观设计专利

夹具(圆柱金属试样)

专利类型: 外观设计
申请(专利)号: CN202030690438.3
授权公布号: CN306557926S
申请人: 内蒙古科技大学
地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学
发明人: 李康雪
专编: 工程科技I部
专题: 轻工业手工业
分类号: 08-05
主分类号: 08 05
页数: 21
代理机构: 北京庭立专利事务所(普通合伙)

申请日: 2020-11-16
授权公告日: 2021 05 25
国省代码: 15
代理人: 丁莉

4. 2021 年 实验台(材料) (李康雪) 外观设计专利

实验台(材料)

专利类型: 外观设计
申请(专利)号: CN202030722929.1
授权公布号: CN306428594S
申请人: 内蒙古科技大学
地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学
发明人: 李康雪; 李涛
专编: 工程科技I部
专题: 轻工业手工业
分类号: 06-03
主分类号: 06-03
页数: 7
代理机构: 北京庭立专利事务所(普通合伙)

申请日: 2020-11-26
授权公告日: 2021-04-02
国省代码: 15
代理人: 张亚伟

5. 2021 年 夹具(金属磨样) (沈鸿葵) 外观设计专利

夹具(金属磨样)

专利类型: 外观设计
申请(专利)号: CN202030726762.6
授权公布号: CN3064290235
申请人: 内蒙古科技大学
地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学
发明人: 沈鸿葵; 谷伟涛; 滕磊
编辑: 1 梅科技 I 辑
专题: 轻工业手工业
分类号: 08-05
主分类号: 08-05
页数: 7
代理机构: 北京挺立专利事务所(普通合伙)
申请日: 2020-11-28
授权公告日: 2021-04-02
国省代码: 15
代理人: 张业伟

6. 2021 年 放置架(陶瓷片) (沈鸿葵) 外观设计专利

放置架(陶瓷片)

专利类型: 外观设计
申请(专利)号: CN202030687903.8
授权公布号: CN306397298S
申请人: 内蒙古科技大学
地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学
发明人: 杨明; 沈鸿葵; 牛跃龙
编辑: 工程科技 I 辑
专题: 轻工业手工业
分类号: 06-04
主分类号: 06-04
页数: 7
代理机构: 北京挺立专利事务所(普通合伙)
申请日: 2020-11-13
授权公告日: 2021-03-23
国省代码: 15
代理人: 王莉

7. 2020 年 一种避免破碎飞溅的耐火材料破碎机（况家瑾） 实用新型专利

cnki 中国知网
www.cnki.net
中国知网基础设施工程

文献知网节

一种避免破碎飞溅的耐火材料破碎机

专利类型: 实用新型

申请(专利)号: CN201921954626.0

授权公布号: CN211436541U

申请人: 内蒙古科技大学

地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学

发明人: 陈颖; 况家瑾; 于永波

专转: 工程科技 I 辑

专题: 轻工业手工业

分类号: B02C23/02; B02C23/04

主分类号: B02C23/02

页数: 9

代理机构: 北京挺立专利事务所(普通合伙)

申请日: 2019-11-13

授权公告日: 2020-09-08

国省代码: 15

代理人: 王莉

8. 2019 年 一种磁吸金属镀层结合力降落实验装置（刘天泽） 实用新型专利

cnki 中国知网
www.cnki.net
中国知网基础设施工程

文献知网节

一种磁吸金属镀层结合力降落实验装置

专利类型: 实用新型

申请(专利)号: CN201920544937.3

授权公布号: CN209707055U

申请人: 刘天泽

地址: 014000 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学

发明人: 刘天泽; 张桐; 曹沛; 闫博; 王波亮

专转: 工程科技 II 辑

专题: 仪器仪表工业

分类号: G01M7/08

主分类号: G01M7/08

页数: 9

申请日: 2019-04-22

授权公告日: 2019-11-29

国省代码: 15

9. 2018 年 一种便于清理的清洁装置（刘笛） 实用新型专利

(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207912643 U

(45)授权公告日 2018.09.28

(21)申请号 201721661675.6

(22)申请日 2017.12.04

(73)专利权人 刘笛

地址 014000 内蒙古自治区包头市昆都仑
区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学

(72)发明人 刘笛

(51)Int. Cl.

A47L 13/10(2006.01)

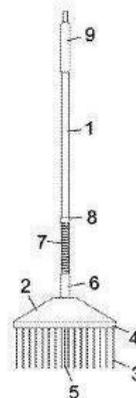
权利要求书1页 说明书2页 附图2页

(54)实用新型名称

一种便于清理的清洁装置

(57)摘要

本实用新型涉及一种便于清理的清洁装置，由连杆、活动板、活动刷条、固定板、固定刷条、把手套、弹簧、挡圈、把手组成；其特征是所述连杆的顶部安装着把手，连杆的下端固定着固定板；所述固定板的截面呈“U”形，在固定板的底面有整齐排列的通孔，且在固定板的中间固定着固定刷条；在固定板的上方有活动板套在连杆上，活动板的下表面固定着活动刷条，活动刷条穿过固定板上的通孔；所述活动板的顶部中间安装着把手套，把手套可以带动活动板在连杆上移动；在把手套上方有弹簧套在连杆上，且在弹簧上方有挡圈固定在连杆上，且在自然状态下，弹簧处于压缩状态。



CN 207912643 U

10. 2018 年 一种新型坚果破壳装置（李新乐） 实用新型专利

(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207721158 U

(45)授权公告日 2018.08.14

(21)申请号 201721156856.3
(22)申请日 2017.09.11
(73)专利权人 内蒙古科技大学
地址 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑
区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学
(72)发明人 周载盛 王树峰 高丽媛 李新乐
陈明杰
(74)专利代理机构 北京挺立专利事务所(普通
合伙) 11265
代理人 叶盛
(51)Int. Cl.
A23N 5/00(2006.01)

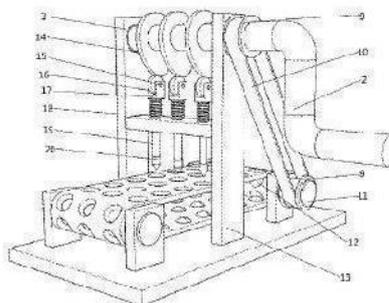
权利要求书 页 说明书 33页 附图 1页

(54)实用新型名称

一种新型坚果破壳装置

(57)摘要

本实用新型公开了一种新型坚果破壳装置，包括外壳、摇柄、轴承、坚果孔、传送带、底板、从动轴、支撑座、皮带轮、皮带、主动轴、传送带接口、“U”型架、凸轮、转轴、滚轮、“U”型架、复位弹簧、传动杆、坚果破碎器；该装置利用皮带，使传送带的传送速度与凸轮的转速一样，从而使破碎器正好能将传送带上的坚果破碎，不会将坚果破碎成极小的颗粒，同时，该装置在传送带上设有坚果孔，能将坚果固定，从而使坚果在破碎时不易滑动，该装置又安装了外壳，防止坚果破碎后的果皮飞出，非常安全，又由于外壳由透明材料制成，能很好的观察坚果破碎的全过程，既能看到凸轮的运动，又可以直观的观察速度和控制速度，同时也增加了该装置的艺术性，使用时非常方便。



CN 207721158 U

11. 2018 年 用于制造定向凝固铸件的装置（李新乐） 实用新型专利

cnki 中国知网
www.cnki.net
中国知网基础设施工程

文献知网节

用于制造定向凝固铸件的装置

专利类型: 实用新型

申请(专利)号: CN201721501308.X

授权公布号: CN207358146U

申请人: 内蒙古科技大学

地址: 014010 内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号

发明人: 张亚彬; 张建国; 郭文英; 姜丙亚; 李新乐; 白凤龙; 辛毅

专编: 工程科技 I 编

专题: 金属学及金属工艺

分类号: B22D27/04;B22C9/08;C30B11/00;C30B28/06;C30B29/52

主分类号: B22D27/04

页数: 6

申请日: 2017-11-06

授权公告日: 2018-05-15

国省代码: 15

12. 2018 年 金属疲劳度测试卡扣（贾永杰） 外观设计专利

cnki 中国知网
www.cnki.net
中国知网基础设施工程

文献知网节

金属疲劳度测试卡扣

专利类型: 外观设计

申请(专利)号: CN201730566785.3

授权公布号: CN304557745S

申请人: 贾永杰

地址: 010020 内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区金桥经济技术开发区世纪七路

发明人: 贾永杰

专编: 工程科技 I 编

专题: 轻工轻工工业

分类号: 08 07

主分类号: 08 07

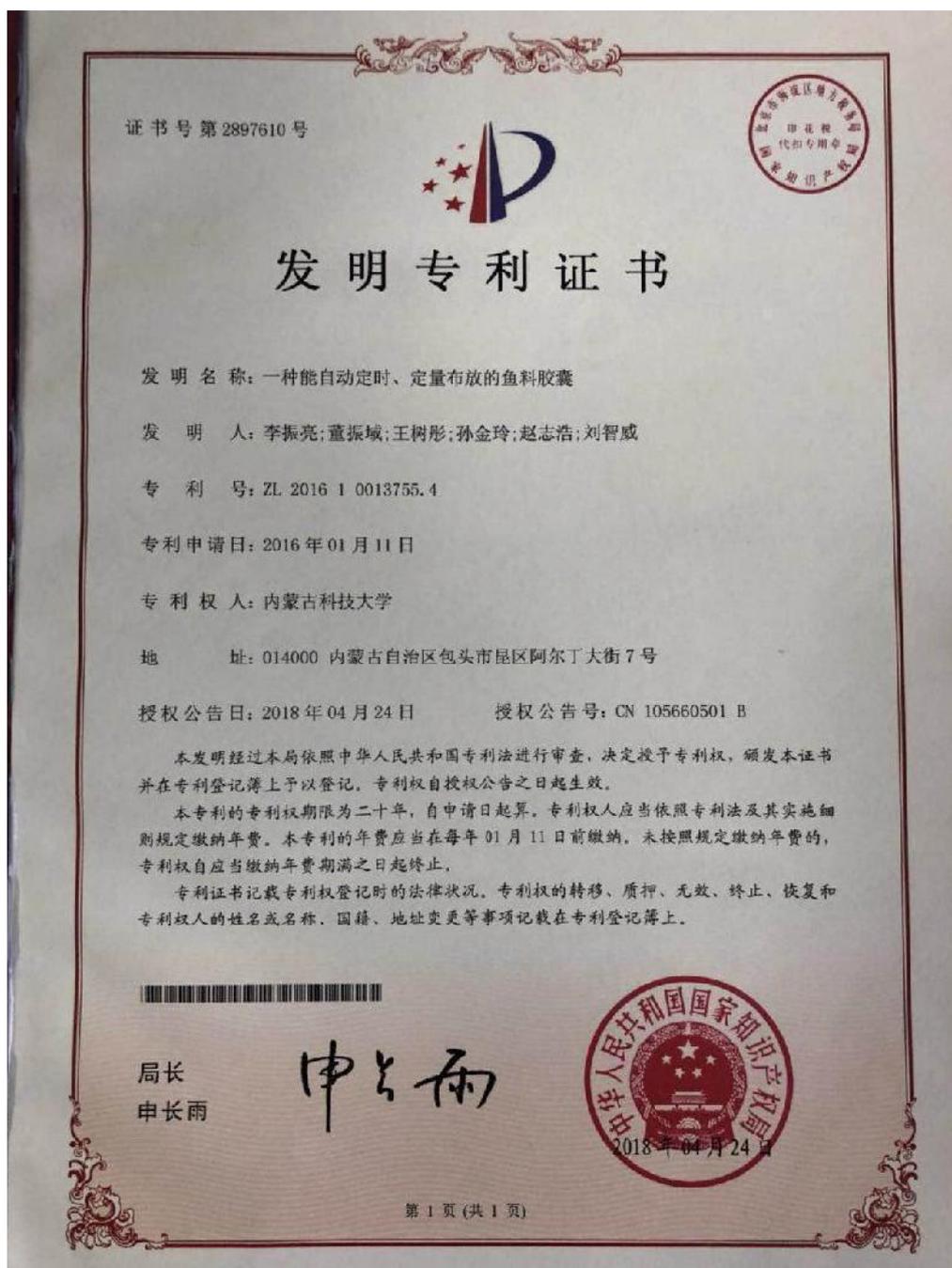
页数: 7

申请日: 2017-11-16

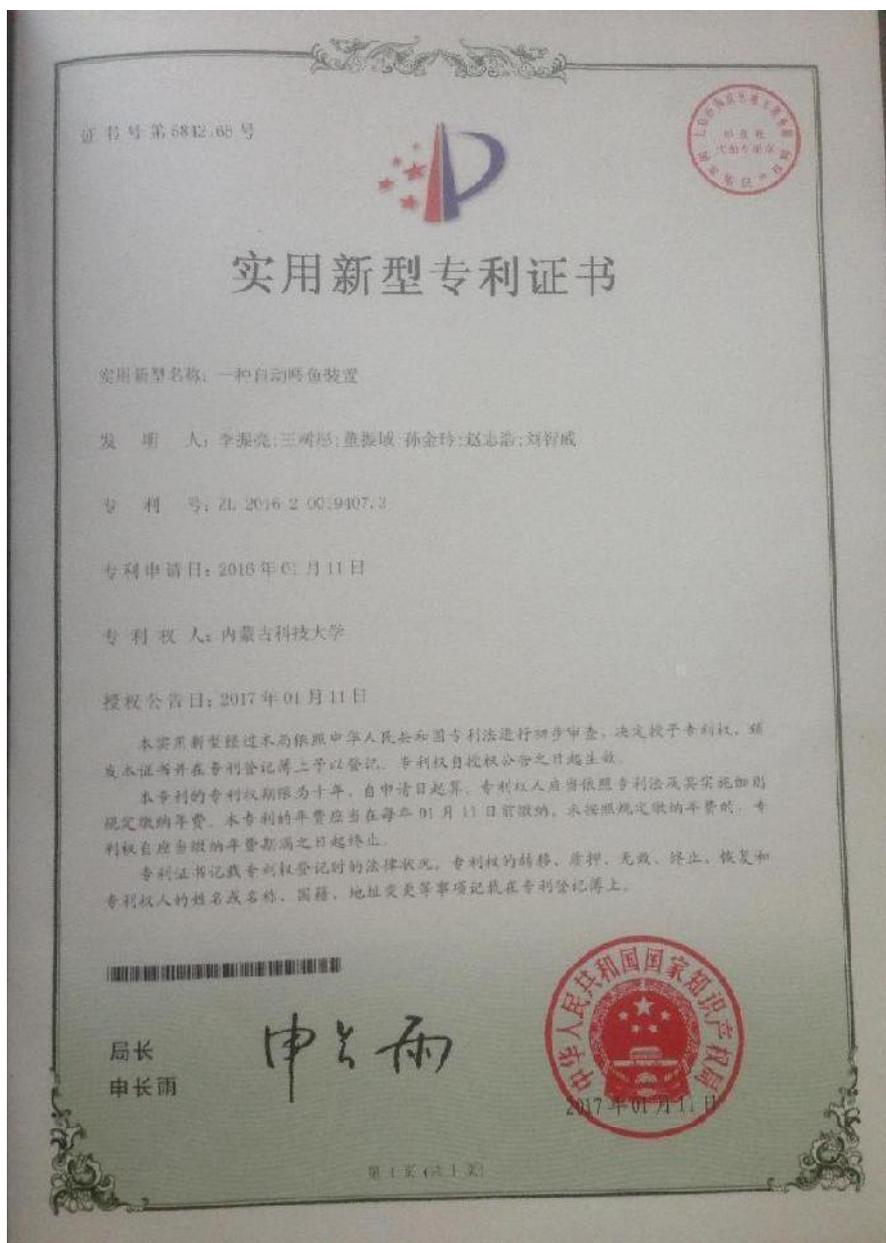
授权公告日: 2018-03-30

国省代码: 15

13. 2018 年 一种能自动定时、定量布放的鱼料胶囊（赵志浩，刘智威）发明专利



14. 2017年 一种自动喂鱼装置（赵志浩，刘智威）实用新型专利



十二、大学生创新训练计划项目立项（8项）

序号	姓名	班级	项目类别	竞赛项目名称	时间	级别	
1	赵浩男	19 材料 1 班	大学生创新创业训练计划	一种新型智能可调节的精确控温淬火装置	2022. 6	校级	已立项
2	杨霄	18 材料 2 班	全国大学生创新创业训练计划大赛（项目）	废旧结晶器再制造及其商业化	2021. 6	省部级	已立项
3	司慧佳	18 材料 2 班	大学生创新创业训练计划	金属疲劳性能表征神器—基于红外传感器的疲劳裂纹精准化测量装置	2021. 6	校级	已立项
4	刘畅	18 材料 1 班	大学生创新创业训练计划	银河	2020. 7	校级	已结题
5	李鹏基	17 材料 1 班	大学生创新创业训练计划	图书循环利用	2020. 7	校级	已结题
6	张桐	16 材料 2 班	大学生创新创业训练计划	P92 钢高温抗氧化涂层制备的技术开放及应用	2019. 4	校级	已结题
7	贺兆海、郭欢、吕萌	16 材料 2 班	大学生科技创新项目	稀土对含铌钢中奥氏体碳化铌溶解规律的影响	2019. 6	校级	已结题
8	刘笛、周健飞、李新乐	15 材料 2 班	大学生科技创新项目	添加稀土对 75Cr1 锯片用钢组织和力学性能的影响	2018 年	校级	已结题

十三、近四届学生就业及考研情况

1. 近四届学生就业情况

2022 届毕业生就业情况表

序号	学号	姓名	就业单位
1	1861107101	刘畅	中国十七冶集团有限公司
2	1861107102	胡珉赫	中冶（上海）钢结构科技有限公司
3	1861107103	范智恒	武汉科技大学
4	1861107104	杨小博	湖南华菱涟源钢铁有限公司
5	1861107105	余进	湖南华菱涟源钢铁有限公司
6	1861107107	高启新	国核运行服务技术有限公司
7	1861107108	唐景增	新地能源工程技术有限公司
8	1861107109	王琦源	内蒙古能源发电投资集团有限公司
9	1861107110	王兴	国核运行服务技术有限公司
10	1861107112	刘羽翀	湖南华菱涟源钢铁有限公司
11	1861107113	刘俊俊	湖南华菱涟源钢铁有限公司
12	1861107114	帅康新	昆明理工大学
13	1861107117	蒙宇鹏	新地能源工程技术有限公司
14	1861107118	张梦宇	内蒙古科技大学
15	1861107119	孙东越	敬业集团
16	1861107120	周桐	内蒙古科技大学
17	1861107121	陈玉麟	新地能源工程技术有限公司
18	1861107122	张浩冉	敬业集团
19	1861107123	刘富源	敬业集团
20	1861107124	张志辰	湖南华菱涟源钢铁有限公司
21	1861107125	宋英豪	费县第二中学教师
22	1861107126	王玉磊	内蒙古科技大学
23	1861107127	田伟庆	桂林电子科技大学
24	1861107128	辛文龙	太原理工大学
25	1861107129	马帅	宝钛集团有限公司
26	1861107132	徐朝勇	昆明理工大学
27	1861107134	林伊铃	大连理工大学
28	1861107135	杨玉琪	来宾市天球电器有限公司
29	1861107136	周晓帆	湖南华菱钢铁集团
30	1861107137	牛睿	建龙北满特殊钢有限责任公司
31	1861107138	邸钰婷	河北钢研德凯科技有限公司
32	1861107139	郭子赫	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
33	1861107140	郭鑫晴	安泰天龙钨钼科技有限公司
34	1861154210	孟鑫	内蒙古通威高纯晶硅有限公司
35	1761107103	巫思宇	嘉兴房地产开发有限公司
36	1861107202	刘旭	黑龙江建龙钢铁有限公司

37	1861107203	潘玉龙	湖南华菱涟源钢铁有限公司
38	1861107204	关健	建龙北满特殊钢有限责任公司
39	1861107205	黄玖龙	华北理工大学
40	1861107206	陈灿宾	中建珠江海外发展公司
41	1861107207	沈鸿葵	北京科技大学
42	1861107208	林雪飞	紫金矿业金山耐磨材料有限公司
43	1861107209	徐敬文	上海和辉光电有限公司
44	1861107210	胡金虎	北京科技大学
45	1861107211	邓启旺	湖南华菱涟源钢铁有限公司
46	1861107212	何文哲	宁波金田铜业集团股份有限公司
47	1861107213	孙运枝	中国核工业二三建设有限公司
48	1861107214	江焜	中国核工业二三建设有限公司
49	1861107215	王新宇	湖南华菱涟源钢铁有限公司
50	1861107216	杨鹏程	包头韵升强磁材料有限公司
51	1861107217	杨依伦	新地能源工程技术有限公司
52	1861107219	徐德宝	天津三环乐喜新材料有限公司
53	1861107220	陆英立	中国十七冶集团有限公司
54	1861107221	王瑞	内蒙古科技大学
55	1861107222	岳霄	宁夏大学
56	1861107224	肖孟宇	中国十七冶集团有限公司
57	1861107226	崔峰	宁波金田铜业集团股份有限公司
58	1861107227	文彪	宝钛集团有限公司
59	1861107228	龚辉	宝钛集团有限公司
60	1861107229	刘泽腾	天津钢管制造有限公司
61	1861107230	马慧忠	新疆众和股份公司
62	1861107231	秦证凯	宁波金田铜业集团股份有限公司
63	1861107232	彭松峰	国核运行山东分公司
64	1861107233	杨金平	广东广青金属科技有限公司
65	1861107234	李康雪	北京科技大学
66	1861107235	郑瑶	天津钢管制造有限公司
67	1861107237	郝雨晶	宝钛集团有限公司
68	1861107238	吴沛泽	国电投霍林河坑口电厂
69	1861107239	李晓琼	宝钛集团有限公司
70	1861107240	王英杰	内蒙古科技大学

2021 届毕业生就业情况表

序号	学号	姓名	就业单位
1	1661107218	王飞	吉林建龙钢铁有限责任公司
2	1761107101	何旭	内蒙古科技大学
3	1761107102	李鹏鹏	承德建龙特殊钢有限公司
4	1761107105	陈洋	山西建龙实业有限公司
5	1761107106	牛墉泰	内蒙古科技大学
6	1761107107	张博君	承德建龙特殊钢有限公司
7	1761107108	杨凡	河南科技大学
9	1761107111	卢向琪	长沙矿山研究院
10	1761107112	宋成伟	湖南华菱涟源钢铁有限公司
11	1761107113	王朋	中信渤海铝业控股有限公司
12	1761107114	戴庆	南京钢铁股份有限公司
14	1761107105	况家瑾	中国科学技术大学
15	1761107117	聂海龙	中北大学
16	1761107118	白岩松	内蒙古科技大学
17	1761107120	李书润	赤峰附大医院
18	1761107121	李鹏基	京磁材料科技股份有限公司
19	1761107122	吴庆宇	京磁材料科技股份有限公司
20	1761107123	王岩	内蒙古能源发电投资集团有限公司
21	1761107124	张登科	金雷科技股份公司
22	1761107125	赵有良	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
23	1761107126	郭金强	中国核工业二三建设有限公司
24	1761107127	武学飞	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
25	1761107128	王浩祺	内蒙古科技大学
26	1761107130	郭家庆	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
27	1761107131	邢云鹏	金雷科技股份公司
28	1761107132	刘恒斌	SMC（中国）有限公司
29	1761107133	王晋渝	承德建龙特殊钢有限公司
30	1761107134	刘武瑞	南京邮电大学
31	1761107135	孟庆帅	SMC（天津）制造有限公司
32	1761107136	杨霖峰	承德建龙特殊钢有限公司
33	1761107140	王琰雨	内蒙古科技大学
34	1761107201	王干	湖南华菱涟源钢铁有限公司
35	1761107202	王云海	内蒙古科技大学
36	1761107203	廖韦宇	广西盛隆冶金有限公司
37	1761107204	杨海东	中国电建集团核电工程有限公司
38	1761107205	闵帅	上海宝冶集团有限公司
39	1761107206	周啸川	承德建龙特殊钢有限公司
40	1761107208	梁力文	燕山大学

41	1761107209	王皓	长江精工钢结构（集团）股份有限公司
42	1761107210	刘润	弘元新材料（包头）有限公司
43	1761107211	李林涛	清华大学深圳国际研究院
44	1761107212	丛义钢	日照钢铁控股集团有限公司
45	1761107213	郭道成	河海大学
46	1761107215	张昭	西安建筑科技大学
47	1761107216	李鑫誉	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
48	1761107217	王刚	河北鑫达钢铁集团有限公司
49	1761107218	代伟杰	内蒙古科技大学
50	1761107220	李博	浙江华友钴业股份有限公司
51	1761107222	廉超	北京天时佳阁房地产投资顾问有限公司
52	1761107223	孔德昭	京磁材料科技股份有限公司
53	1761107226	孙骆	南昌航空大学
54	1761107227	张洪波	承德建龙特殊钢有限公司
55	1761107229	陈佩	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
56	1761107230	邵云	中国能源建设集团天津电力建设有限公司
57	1761107231	王绪鑫	日照钢铁控股集团有限公司
58	1761107234	王长猛	承德建龙特殊钢有限公司
59	1761107235	宫彬彬	中冶（上海）钢结构科技有限公司
60	1761107237	侯思羽	中国核工业二三建设有限公司
61	1761107238	李金钰	兰州中大教育集团
62	1761142203	李文浩	内蒙古科技大学

2020 届毕业生就业情况表

序号	学号	姓名	就业单位
1	1361107113	吴子坤	东北特殊钢集团股份有限公司
2	1661107101	黄鸣	营口京华钢铁有限公司
3	1661107102	安明龙	中国核工业二三建设有限公司
4	1661107103	刘风光	中冶（上海）钢结构科技有限公司
5	1661107105	黄民权	昆明理工大学
6	1661107106	阮翔	江西省武宁县委组织部
7	1661107107	侯琪	中国核工业二三建设有限公司
8	1661107108	张泽涵	包钢（集团）公司
9	1661107109	丁雪聪	包钢股份薄板厂
10	1661107110	郭鑫博	武汉科技大学
11	1661107111	张鑫	包钢（集团）公司
12	1661107113	全佳航	松山区上官地镇人民政府
13	1661107115	于凤龙	承德建龙特殊钢有限公司
14	1661107116	郭原铖	拟出国出境
15	1661107117	任奕同	内蒙古科技大学
16	1661107118	张明	乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司
17	1661107120	王建国	三星(中国)半导体有限公司
18	1661107121	李伟	北方民族大学
19	1661107123	谢港生	内蒙古科技大学
20	1661107124	宋博	中国铁路青藏集团公司
21	1661107125	姜志浩	青岛大学
22	1661107127	王磊	太原理工大学
23	1661107131	褚倩	长城汽车股份有限公司
24	1661107132	史振晶	北京科技大学
25	1661107133	韩璐	抚顺市财政发展服务中心
26	1661107134	张佳琦	河北燕兴机械有限公司
27	1661107135	赵琿	巴彦乌拉苏木人民政府
28	1661107137	王玥	兴安盟博源化学有限公司
29	1661107138	张宏	神华包头能源有限责任公司
30	1661107139	张硕	苏州大学
31	1674143324	许哲	北京科技大学
32	1468100112	吉日木图	兴安盟博源化学有限公司
33	1661107201	陈盛	厦门金越电器有限公司
34	1661107202	江左麒	广东省新材料研究所
35	1661107204	刘群	兰州大学
36	1661107205	李嘉伟	中国一冶集团有限公司冶金建设分公司
37	1661107206	朱昱霖	拟参加公招考试
38	1661107207	贺兆海	内蒙古北方重工业集团有限公司

39	1661107208	张伟	内蒙古北方重工业集团有限公司
40	1661107209	于东海	自由职业
41	1661107210	赵文杰	自由职业
42	1661107211	郭欢	内蒙古科技大学
43	1661107214	牛嘉兴	国家能源集团宝庆发电有限公司
44	1661107215	王中琳	内蒙古科技大学
45	1661107216	刘昀松	自由职业
46	1661107217	王泽	东北大学
47	1661107219	方慧亮	内蒙古科技大学
48	1661107221	力晓奇	宁夏建龙龙祥钢铁有限公司
49	1661107222	牛晓伟	宁夏建龙龙祥钢铁有限公司
50	1661107223	伍健	内蒙古科技大学
51	1661107224	王超	北京科技大学
52	1661107225	景永岩	国核电站运行服务技术有限公司
53	1661107226	曹帅	太原理工大学
54	1661107227	权楷峰	内蒙古科技大学
55	1661107228	吴俊	云南建投第二安装工程公司
56	1661107231	骈利平	昆明理工大学
57	1661107230	吕萌	内蒙古科技大学
58	1661107232	司宏丽	沈阳工业大学
59	1661107233	桑玥	内蒙古北方重工业集团有限公司
60	1661107234	逢雪	内蒙古科技大学
61	1661107235	张赢心	呼伦贝尔市扎赉诺尔区社区
62	1661107236	曹宇娟	长安大学
63	1661107238	刘天泽	东北大学
64	1661107239	张桐	天津国华盘山发电有限责任公司

2019 届毕业生就业情况表

序号	学号	姓名	就业单位
1	1561107101	石正富	安徽省马鞍山市马钢集团
2	1561107102	王大勇	龙佰集团
3	1561107103	彭宝田	湖北大冶特钢有限公司
4	1561107104	张青龙	河南钢铁控股集团有限公司
5	1561107105	秦栋栋	湖北大冶特钢有限公司
6	1561107106	所平原	山东钢铁集团日照有限公司
7	1561107107	唐剑	南昌航空大学（读博）
8	1561107108	贾永杰	京能秦皇岛热电有限公司
9	1561107109	刘国元	国能河北定州发电责任有限公司
10	1561107110	李天赐	四会市达博文实业有限公司
11	1561107111	李志强	中共赤峰市委统战部
12	1561107112	池云龙	河北工业大学（读博）
13	1561107113	王鹏飞	包头天和磁材
14	1561107114	姚欣宇	国能（绥中）发电有限责任公司
15	1561107115	康旭	内蒙古包钢稀土钢板材公司
16	1561107116	胡少臣	包头天和磁材
17	1561107117	赵树朋	华南师范大学光电产业研究院
18	1561107118	董志多	中合一工程设计有限公司
19	1561107119	李学东	北京科技大学（读博）
20	1561107120	贾德彪	达拉土族乡
21	1561107121	商浩	青岛云路先进材料技术股份有限公司
22	1561107122	李振兴	南钢钢铁联合有限公司
23	1561107123	王效礼	柳州钢铁集团
24	1561107124	袁伟苹	鞍钢蒂森克虏伯重庆汽车钢有限公司
25	1561107125	马军妮	四会市达博文实业有限公司
26	1468100518	张海峰	沈阳建华机械有限公司
27	1561107202	韦永腾	广西柳州钢铁集团有限公司
28	1561107203	何昱瑞	内蒙古科技大学（考研）
29	1561107204	賁文彬	河北荣信钢铁有限公司
30	1561107205	周健飞	兰州理工大学（读博）
31	1561107207	藺崢	中国人民解放军第六四零九工厂
32	1561107209	邓天宇	广西柳州钢铁集团有限公司
33	1561107210	王宇轩	内蒙古蒙泰集团有限公司
34	1561107211	马振宇	浙江青山钢铁
35	1561107212	汤庆辉	北京理工大学（读博）
36	1561107214	郝晓乐	航天工程大学
37	1561107215	高利伟	包钢集团设计研究院
38	1561107216	杨浩	麦考瑞大学

39	1561107218	王晓龙	小米通讯技术有限公司
40	1561107219	赵凡	内蒙古蒙泰集团有限公司
41	1561107220	李新乐	中国科学院金属研究所（读博）
42	1561107222	路春春	浙江青山钢铁
43	1561107224	宋晓珊	深圳市昱科有限公司
44	1561107225	刘笛	大连理工大学（读博）
45	1561107227	陈转玲	浙江青山钢铁
46	1561107229	高奋勇	润通航运有限公司

2. 近四届考取研究生学生人数共 66 人。

毕业年级	姓名	考研学校
2022 届	沈鸿葵	北京科技大学
2022 届	胡金虎	北京科技大学
2022 届	李康雪	北京科技大学
2022 届	林伊铃	大连理工大学
2022 届	辛文龙	太原理工大学
2022 届	徐朝勇	昆明理工大学
2022 届	帅康新	昆明理工大学
2022 届	范智恒	武汉科技大学
2022 届	田伟庆	桂林电子科技大学
2022 届	周桐	内蒙古科技大学
2022 届	张梦宇	内蒙古科技大学
2022 届	王玉磊	内蒙古科技大学
2022 届	王英杰	内蒙古科技大学
2022 届	黄玖龙	华北理工大学
2021 届	李林涛	清华大学 深圳国际研究院
2021 届	况家瑾	中国科技大学
2021 届	刘武瑞	南京邮电大学
2021 届	梁力文	燕山大学
2021 届	郭道成	河海大学
2021 届	聂海龙	中北大学
2021 届	张昭	西安建筑科技大学
2021 届	孙骆	南昌航空大学
2021 届	王云海	内蒙古科技大学
2021 届	代伟杰	内蒙古科技大学
2021 届	李文浩	内蒙古科技大学
2021 届	王琰雨	内蒙古科技大学
2021 届	牛墉泰	内蒙古科技大学
2021 届	王浩祺	内蒙古科技大学
2021 届	何旭	内蒙古科技大学
2021 届	白岩松	内蒙古科技大学
2020 届	史振晶	北京科技大学
2020 届	王磊	太原理工大学
2020 届	郭鑫博	武汉科技大学
2020 届	李伟	北方民族大学
2020 届	谢港生	内蒙古科技大学

2020 届	许哲	北京科技大学
2020 届	黄民权	昆明理工大学
2020 届	姜志浩	青岛大学
2020 届	张硕	苏州大学
2020 届	任奕同	内蒙古科技大学
2020 届	王超	北京科技大学
2020 届	王泽	东北大学
2020 届	刘天泽	东北大学
2020 届	骈利平	昆明理工大学
2020 届	曹帅	太原理工大学
2020 届	刘群	兰州大学
2020 届	司红丽	沈阳工业大学
2020 届	曹玉娟	长安大学
2020 届	王中琳	内蒙古科技大学
2020 届	郭欢	内蒙古科技大学
2020 届	伍健	内蒙古科技大学
2020 届	逢雪	内蒙古科技大学
2020 届	方慧亮	内蒙古科技大学
2020 届	吕萌	内蒙古科技大学
2020 届	权楷峰	内蒙古科技大学
2019 届	刘笛	大连理工大学
2019 届	李新乐	东北大学
2019 届	李学东	北京科技大学
2019 届	汤庆辉	北京工业大学
2019 届	周健飞	兰州理工大学
2019 届	王晓龙	河北工业大学
2019 届	石正富	安徽工业大学
2019 届	唐剑	南昌航空大学
2019 届	池云龙	河北工业大学
2019 届	赵树朋	河北工业大学
2019 届	何昱瑞	内蒙古科技大学