

文章编号:1674-9669(2020)03-0115-06 DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2020.03.016

引文格式:张帆, 谌凯. 钕铁硼永磁材料专利技术发展态势分析[J]. 有色金属科学与工程, 2020, 11(3): 115-120.

钕铁硼永磁材料专利技术发展态势分析

张帆, 谌凯

(浙江省科技信息研究院, 杭州 310008)

摘要:钕铁硼(NdFeB)永磁材料是第3代稀土永磁材料,具有广阔的应用领域。文中采用专利分析方法,从专利申请总体趋势、生产工艺、晶界改性、技术功效、区域竞争状况、专利质量、优势机构等方面开展钕铁硼永磁材料技术发展态势研究,为相关政府部门、企业和研究机构发展钕铁硼永磁材料产业和技术提供情报支撑。研究表明:钕铁硼永磁材料技术正处于高速发展期,但有开始进入技术成熟期的迹象。日本、美国申请人在该领域构筑了较高的专利壁垒。我国近年来对于钕铁硼永磁材料技术的研发热情高涨,申请了大量相关专利,但从专利质量来看,技术水平还有待进一步提高。最后,综合分析结论,为我国钕铁硼的技术创新与产业发展提供对策建议。

关键词:钕铁硼;永磁材料;专利分析;发展态势

中图分类号:G306;TG146.45 **文献标志码:**A

Research on the development status of Nd-Fe-B based on patent analysis

ZHANG Fan, SHEN Kai

(Institute of Scientific and Technical Information of Zhejiang Province, Hangzhou 310008, China)

Abstract: As the 3-G rare earth permanent magnet material, Nd-Fe-B has a wide range of applications. Based on patent analysis, the development status of Nd-Fe-B is investigated from several aspects, including development status, manufacturing technique, grain boundary modification, technical effect, regional competition status, patent quality and patent applicants, to provide intelligence support for related government agencies, enterprises and research institutes in the further development of Nd-Fe-B industry and technologies. Research results indicate that Nd-Fe-B technologies are booming, with a sign of reaching mature stage. Patent applicants from Japanese and US have built formidable patent barriers in this field. China has shown great R&D enthusiasm towards Nd-Fe-B-related technologies in recent years and has applied a large number of relevant patents. However, in terms of patent quality, China still has a long way to go in the technological level in Nd-Fe-B. Finally, based on the conclusions of the patent analysis, strategic measures for the technological innovation and development of Nd-Fe-B are proposed.

Keywords: Nd-Fe-B; permanent magnet material; patent analysis; development status

钕铁硼(NdFeB)永磁材料是第3代稀土永磁材料,主要由稀土元素钕(Nd)、过渡金属元素铁(Fe)和非金属元素硼(B)3种元素构成。自发现以来,凭借其高性能、节能环保、原料资源储备丰富、加工工艺成

熟、成本低廉(相对于钕钴永磁材料)等优点,得到广泛应用,目前其应用已从传统的永磁电机、扬声器、磁选机、计算机磁盘驱动器等领域拓展到新能源汽车、风力发电、节能家电、航空航天、工业机器人等新兴领

域^[1-10]。进入 21 世纪以来,凭借稀土资源优势,全球钕铁硼产业逐渐向中国转移,据东北证券研报,2018 年钕铁硼全球产量 18 万 t,中国产量 16.3 万 t,占比达到约 90%。随着下游新兴领域的持续发展,钕铁硼永磁材料的需求量将继续保持稳定增长的态势。然而,我国钕铁硼永磁材料产业长期处于日本日立金属公司(原日本住友公司)和美国麦格昆磁公司的专利壁垒之下,面临专利诉讼、高昂的专利许可费用、产品销售受限制等不利因素,且日、美跨国公司仍在不断设置新的专利壁垒,钕铁硼生产企业步履维艰^[11-15]。

因此,本研究以全球钕铁硼永磁材料相关专利技术为研究对象,运用专利分析方法,从技术发展现状和趋势、区域竞争格局、优势企业/研究机构等层面开展专利分析研究,明确国内外钕铁硼永磁材料专利技术发展态势,为我国钕铁硼永磁材料生产企业产品研发、专利战略布局提供技术参考,为我国更好更快发展钕铁硼永磁材料产业提供支撑。

1 钕铁硼永磁材料专利技术发展现状和趋势分析

1.1 钕铁硼永磁材料专利检索及分析方法

采用德温特专利数据库 (Derwent Innovation), 结合关键词、IPC 分类、CPC 分类的方法进行专利检索和数据采集,对检索到的数据经自动清洗和手工清洗共得到与钕铁硼永磁材料技术相关的 7 578 项专利族,19 424 件专利;中国专利 3 832 项,其中中国专利申请人申请的中国专利为 2 975 项(检索时间范围为 1962 年至 2018 年 11 月)。进一步对得到专利数据进行人工标引处理,标引词主要包括生产工艺(烧结、粘结、热压)、技术功效(磁性能、耐高温、耐腐蚀、高强度、抗裂纹/防缺口)和细分技术(晶界改性)。最后,综合运用科睿唯安公司的 DDA、Derwent Innovation、合享智慧公司的 Incopat 以及国家知识产权局出版社专利分析软件 PIAS 等工具,对标引后的数据进行分析。

1.2 钕铁硼永磁材料专利总体态势分析

1.2.1 钕铁硼永磁材料专利申请量

根据申请专利数量及发展趋势(见图 1),可以将 NdFeB 永磁材料技术发展分为 3 个阶段:第 1 阶段(1981—1990 年),技术孕育期。此阶段专利申请人主要来自日本和美国,而日本又占据了总专利申请量的近 90%。这一时期日本住友及美国通用汽车分别申请了各自的钕铁硼永磁材料配方专利,从而奠定了其

在该领域长达数十年的垄断地位。第 2 阶段(1991—2008 年),技术低速发展期。该阶段专利申请量出现一定的下降趋势,并保持了较长时间。第 3 阶段(2009 年至今),技术高速发展期。中国在这一阶段专利申请量遥遥领先,可以说中国专利申请量的大幅增加,直接影响了该技术领域专利申请量的年度变化趋势。



图 1 NdFeB 永磁材料技术专利申请量年度分布
Fig. 1 Annual patents distribution of NdFeB

进入 21 世纪,我国电子信息、新能源汽车、风力发电、家用电器、医疗器械等行业都呈现不同程度的快速增长,从而带动了钕铁硼永磁材料尤其是高性能钕铁硼永磁材料的需求量不断增长,从而推动技术的不断改进,且由于我国丰富的稀土资源和劳动力成本较低等优势,钕铁硼的产业中心逐渐向中国转移,中国已发展成为全球钕铁硼永磁材料的生产和消费大国^[4,9,16]。从图 2 可以看出,2012—2017 年,专利申请人数量出现下降趋势,表明钕铁硼永磁材料技术可能

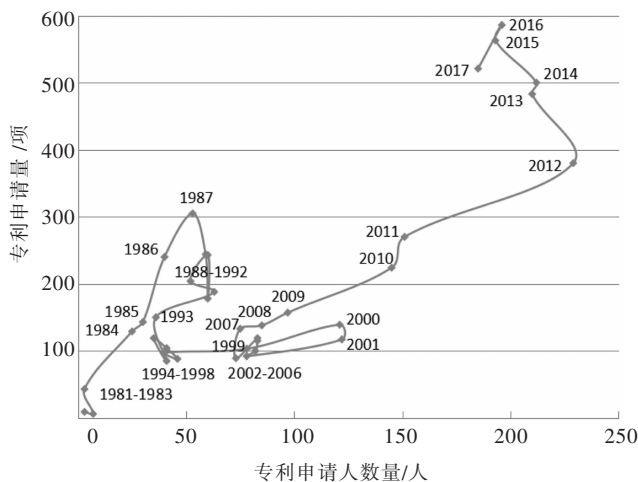


图 2 NdFeB 永磁材料技术生命周期
Fig. 2 Technology life cycle of NdFeB

即将进入技术成熟期,反映了竞争趋向激烈,进入门槛提高,小型企业开始退出市场。

1.2.2 钕铁硼永磁材料专利区域竞争状况

全球有数十个国家和地区在钕铁硼永磁材料技术领域进行了专利申请。如图 3 所示,专利申请排名前列的国家和地区依次是日本、中国、美国、韩国和德国等。其中日本在该领域专利申请量最高,占该领域专利总量的 50%;其次是中国,占比 39%。

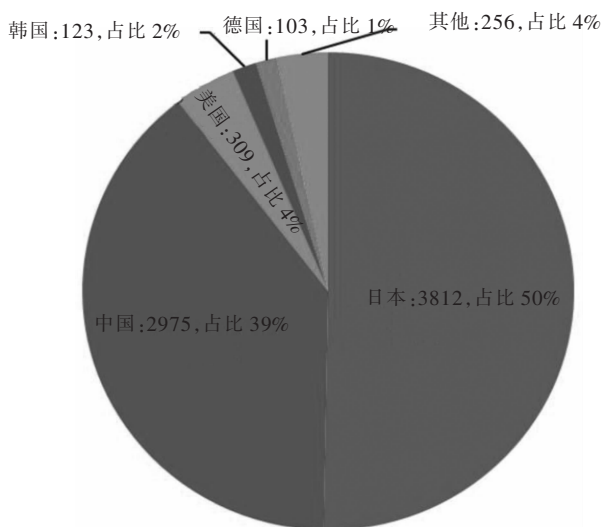


图 3 NdFeB 永磁材料技术专利来源国和地区

Fig. 3 Patents source countries and regions of NdFeB

表 1 所列综合反映了 TOP5 专利来源国的专利质量,我国专利引用 ≥ 5 次、平均被引次数、H 指数、三方专利数量等专利质量指标均落后于日本和美国,PCT 专利数量远远低于日本,但上述指标高于德国和韩国,说明我国在该技术领域专利质量具有一定水平,但不具领先优势,有待进一步提高。

表 2 所列综合反映了钕铁硼永磁材料技术 TOP10 国内省市的专利质量,从申请专利数量来看,

浙江省明显领先于其他省市,H 指数指标与北京市持平,同列第一位,但被引 ≥ 5 次、平均被引频次指标分别落后于北京、辽宁、山西等,PCT 专利数量落后于北京和广东,上述指标说明浙江省创新主体对知识产权保护较为重视,但研发水平有待进一步提高。

1.3 钕铁硼永磁材料技术发展趋势

为全面了解钕铁硼永磁材料技术发展现状,我们对钕铁硼永磁材料进行技术标引,并对标引内容进行了深入分析。

1.3.1 钕铁硼永磁材料晶界改性技术发展态势

钕铁硼永磁材料的主相为 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 硬磁相,晶界相为富 Nd 相。其中,晶界相的成分、结构和分布状态对磁体磁性能、抗腐蚀性能和机械性能有非常明显的影响^[17-18]。近年来,随着海上风力发电、混合动力汽车的迅速发展,以及国家政策的扶持,对高性能磁体的需求将越来越大,并对磁体的耐热性、抗腐蚀性能和使用寿命提出更高的要求。目前,研究者主要通过晶界改性工艺实现对钕铁硼永磁材料性能的改进^[19-22]。采用的改进技术主要有通过合金化添加的双合金法、通过粉末混合非合金成分进行晶界扩散及通过磁体表面扩散等技术,实现对晶界相的强化,从而提高磁体性能。

本研究通过人工标引方式,对大量涉及晶界改性技术的专利进行归类标引,结果见图 4。由图 4 可知,表面扩散和双合金法为晶界改性技术的主要关注技术。在 2007 年以后,几种晶界改性技术的专利申请量均有显著增长,显示技术有了新的发展。而晶界改性技术主要用于磁体性能的改进,这种专利申请量大幅增长现象,也表明了市场对于高性能钕铁硼永磁材料的需求,驱使工艺技术的改进。

1.3.2 钕铁硼永磁材料技术功效

钕铁硼永磁材料的性能主要包括磁学性能和力学性能,磁学性能包括剩磁、最大磁能积、矫顽力、居

表 1 NdFeB 永磁材料技术 TOP5 专利来源国专利质量指标

Table 1 TOP5 patent quality of NdFeB of TOP5 source countries

专利来源国	申请量/个	引用 ≥ 5 次数量(占比)	平均被引次数/次	H 指数	PCT 专利数量/个	三方专利数量/个
日本	12 014	2 840(23.6%)	3.820	57	504	505
中国	4 499	594(13.2%)	1.920	26	83	31
美国	1 428	456(31.9%)	5.980	35	72	66
德国	376	34(9.0%)	1.476	11	51	12
韩国	283	14(4.9%)	1.010	8	17	3

表 2 NdFeB 永磁材料技术 TOP10 专利来源省市
专利质量指标
Table 2 Patent quality of NdFeB of TOP10 patent
source provinces and cities

排名	省市	申请量 /个	被引≥5 次数量 (占比)	平均被引 频次/次	H 指数	PCT 专利 /个
1	浙江	1 021	131(12.8%)	2.13	19	9
2	北京	774	144(18.6%)	2.50	19	25
3	江苏	334	39(11.7%)	1.77	11	0
4	山东	279	43(15.4%)	1.94	12	4
5	辽宁	267	59(22.1%)	2.81	13	9
6	江西	261	17(6.5%)	1.15	9	0
7	安徽	247	19(7.7%)	1.33	8	0
8	广东	191	30(15.7%)	2.10	10	11
9	天津	168	21(12.5%)	1.86	9	2
10	山西	152	20(13.2%)	2.59	8	0

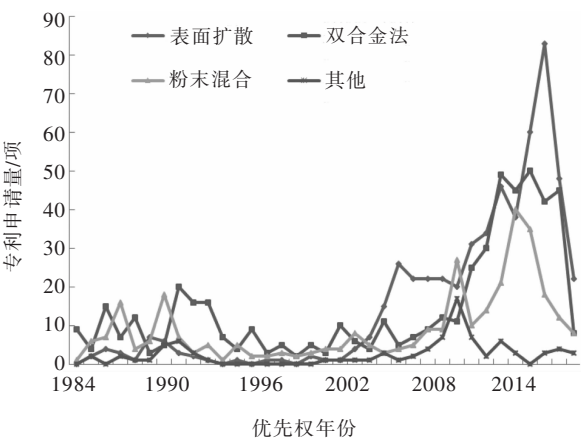


图 4 晶界改性技术专利申请量年度分布
Fig. 4 Annual patents distribution of grain
boundary modification of NdFeB

里温度等,力学性能包括抗拉强度、抗弯强度、硬度、冲击韧性、断裂韧性等,另外还包括化学稳定性(耐腐蚀性)^[1]。近几年随着新能源汽车电机、风力发电、变频家电、节能电机等新兴领域的发展,对高性能钕铁硼永磁材料的需要越来越大,相应技术功效的研发也成为热点。另外,由于近年来稀土金属价格的大幅上涨,造成钕铁硼配方成本不断提升,使得利润空间被压缩,开发低成本工艺也成为研发主体的重点关注领域。

本研究对涉及上述领域的技术功效(包括磁性能、耐腐蚀、耐高温、高强度、抗裂纹/防缺口、低成本等)专利申请状况进行了分析,结果见图 5。由图 5 可

知,磁性能的提高仍然是钕铁硼永磁材料的主要研发目标,相对于耐腐蚀、耐高温、高强度等特殊功能性材料的研发,低成本技术显然更受关注。在钕铁硼永磁材料的第 3 个发展阶段(2009 年至今)低成本技术专利申请量开始超越耐腐蚀技术,尤其是自 2013 年以后专利申请量大幅超越耐腐蚀技术,我们分析,其原因可能由于 2009—2012 年全球稀土价格出现了一次疯狂暴涨,造成钕铁硼磁体的原材料成本大幅攀升,从而使各研发主体开始更多地关注低成本技术。

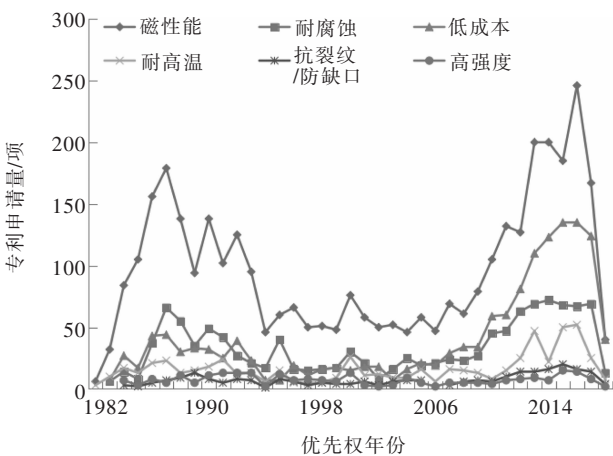


图 5 不同技术功效专利申请量年度分布
Fig. 5 Annual patents distribution of different
technical effects of NdFeB

2 钕铁硼永磁材料专利优势机构分析

全球有 1 500 余家机构在钕铁硼永磁材料相关领域进行了专利申请,如表 3 所列,排名前 30 的机构主要来自日本、中国和美国,以日本企业为主,申请量遥遥领先。日立金属、TDK、大同特殊钢及信越化学在钕铁硼永磁材料技术领域一直保持较高的活跃度,活动年达 30 年以上。来自中国的申请人中,活动年期均低于 20 年,且 2011 年后申请的专利占比达 60%以上,甚至有两家达 90%以上,显示了中国申请人进入该领域较晚,近期活跃度较高。

3 研究结论及产业对策建议

专利分析结果表明,钕铁硼永磁材料目前处于技术高速发展阶段,但有进入成熟期的迹象;日本和美国引领了钕铁硼永磁材料技术的发展,中国在该领域属于后起之秀,研发与应用能力尚有差距,专利质量较低;晶界改性技术及以提高矫顽力、提高磁能

表 3 NdFeB 永磁材料技术主要申请人专利指标
Table 3 Patent quality of NdFeB of principal patent applicants

排名	申请人	申请量	活动年期/年	平均专利年龄/年	2011 年后申请量/个(占比)
1	日本日立金属	1 088	36	20.7	154(14.2%)
2	日本 TDK	410	33	15.3	142(34.6%)
3	日本精工爱普生	335	18	27.7	1(0)
4	日本大同特殊钢	192	31	21.6	30(15.6%)
5	日本信越化学	190	33	18.1	34(17.9%)
6	北京中科三环	173	15	6.5	109(60.0%)
7	日本住友金属矿山	157	32	20.9	23(14.6%)
8	日本东北金属	132	15	29.8	0
9	日本丰田自动车	124	15	6.4	85(68.5%)
10	北京京磁材料	125	7	2.1	122(97.6%)
11	日本三菱	113	27	24.1	4(3.5%)
12	日本松下	108	28	22.4	10(9.3%)
13	安徽大地熊	97	9	3.8	94(96.9%)
14	中科院宁波材料所	81	14	5.2	61(75.3%)
15	日本日东电工	81	9	6.4	45(55.6%)
16	日本神户制钢	77	8	29.2	0
17	日本昭和电工	63	25	15.0	9(14.3%)
18	日本东芝	61	22	24.4	8(13.1%)
19	北京科技大学	61	17	5.1	49(80.3%)
20	中国钢铁研究总院	60	14	6.4	49(81.7%)
21	美国麦格昆磁公司	60	18	24.2	13(21.7%)
22	沈阳中北通	58	8	4.7	55(94.8%)
23	北京工业大学	57	13	4.3	52(91.2%)
24	日本日产汽车	56	18	13.6	12(21.4%)
25	横店东磁	54	12	4.4	42(77.8%)
26	日本因太金属	52	18	10.4	23(44.2%)
27	日本 KANEGAFUCHI CHEM KK	51	8	27.3	0
28	宁波韵升	49	12	4.9	43(87.8%)
29	浙江大学	45	14	7.0	26(57.8%)
30	赣州恒源	44	2	1.1	44(100%)

积、降低成本等为目的工艺技术得到了大量关注度,专利申请量出现大幅增长,成为近期研发热点;绝大多数领军企业一直坚持对该领域的研发投入,说明该领域目前仍是全球研发热点,短期前景看好。钕铁硼永磁材料技术在我国产业化程度较高,企业参与积极性高。

基于专利分析得出的钕铁硼永磁材料相关技术成熟度和生命周期,结合我国钕铁硼永磁材料产业发展的现实需求,提出以下建议:

1)统筹规划,突出政府引导。我国钕铁硼永磁材料产业发展应高性能磁体为目标,以晶界改性、元素掺杂、降低稀土用量、废料利用等关键技术为突破口,进行重点布局、统筹规划;引导相关企业围绕细分市场进行技术攻关和突破,向差异化方向发展。

2)加快核心技术研发,促进产业升级发展。建议以势企业为依托建立产学研联合的技术创新联盟,瞄准高性能、低成本等方向,加快钕铁硼永磁材料核心技术研发。在北京、浙江、江西等铁硼永磁材料产业园区,集聚创新资源,开展产业链横向和纵向整合,充分发挥龙头企业带动作用。

3)推进产业链布局,拓展钕铁硼永磁材料上游原料供应及下游应用市场。重视稀土原材料的供应管理,鼓励大型钕铁硼永磁材料积极利用资金优势,保持合理充足的原材料供应与储备,通过参股或直接设厂方式在稀土资源地建立稀土原料生产企业,确保稳定的稀土原材料供应渠道和价格。引导和鼓励钕铁硼永磁材料在汽车工业、工业节能电机、消费电子、变频家电等领域的推广应用。

4)实施专利导航发展战略,鼓励海外专利布局。对有关国外公司在世界各国,特别是在华专利申请情况进行分析研究,制定钕铁硼永磁材料专利保护规划,规避国外公司设置的专利壁垒,在关键技术领域构建专利保护网,并为我国钕铁硼永磁材料抢占国际市场提供指导。鼓励国内创新进行海外专利布局,以逐步参与到更广更深的全球竞争中,充分发挥专利引领产业升级发展的作用。

参考文献:

[1] 胡文艳. 钕铁硼永磁材料的性能及研究进展 [J]. 现代电子技术, 2012,35(2):151-152.

[2] 杜世举,李建,程星华,等.烧结钕铁硼晶界扩散技术及其研究进展[J]. 金属功能材料,2016,23(1):51-59.

[3] PAVEL C C, THIEL C, DEGREIF S, et al. Role of substitution in mitigating the supply pressure of rare earths in electric road transport applications[J]. Sustainable Materials and Technologies,

- 2017,12: 62–72.
- [4] IMHOLTE D D, NGUYEN R T, VEDANTAM A, et al. An assessment of US rare earth availability for supporting US wind energy growth targets[J]. *Energy Policy*,2018,113: 294–305.
- [5] 陈晋.钕铁硼永磁材料的生产应用及发展前景[J].*铸造技术*,2012,33(4):398–400.
- [6] 高娇.高性能烧结钕铁硼永磁材料的研究[D].兰州:兰州大学,2018.
- [7] 胡伯平. 稀土永磁材料的现状与发展趋势 [J]. *磁性材料及器件*, 2014,45(2):66–77.
- [8] 张大鹏. 一种机器人用钕铁硼永磁材料及其制备方法: 201610358223.4[P]. 2016–11–09.
- [9] 杨磊,李连香,杨屹.新型钕铁硼永磁材料化学与热稳定性研究[J].*航天器环境工程*,2014,31(2):196–200.
- [10] 王方.钕铁硼永磁材料发展探究[J].*稀土信息*,2018(11):36–39.
- [11] 和金生,王会良.我国钕铁硼产业专利战略环境的几点分析及相关建议[J]. *稀土*,2007,28(5):118–125.
- [12] 刘思德,赵文静.中国钕铁硼企业何时能扬帆远航?——关于中国钕铁硼企业专利困境的思考[J].*稀土信息*,2014(11):10–13.
- [13] 吴志军. 我国稀土产业可持续发展战略研究 [J]. *江西社会科学*, 2012,32(2):42–49.
- [14] 冯瑞华,姜山,马廷灿,等.我国稀土永磁材料发展战略和建议[J].*科技管理研究*,2012,32(15):164–167.
- [15] 钟明龙,刘徽平.我国钕铁硼永磁材料产业技术现状与发展趋势[J].*电子元件与材料*,2013,32(10):6–9.
- [16] 蒋龙,喻晓军.中国烧结钕铁硼永磁产业回顾及展望[J].*新材料产业*,2011(5):1–7.
- [17] 张培,胡梅娟,吴敏,等. 具有晶界多层结构的高性能烧结 Nd-Fe-B 磁体的制备方法及其制备的产品: 201611150742.8[P]. 2017–05–10.
- [18] 周庆. 烧结 NdFeB 永磁晶界结构和晶界相调控及其对性能影响[D]. 广州:华南理工大学,2016.
- [19] 崔熙贵,王兴华,崔承云,等.烧结钕铁硼的晶界扩散改性、结构与性能研究进展[J]. *稀有金属*,2018,42(3):315–324.
- [20] 宫清,张法亮,邓小霞,等.烧结钕铁硼磁体晶界扩散 Dy/DyFe 工艺研究[J].*稀土*,2015,36(4):120–126.
- [21] 李向斌. 烧结钕铁硼磁体的晶界调控与性能研究[D].武汉:武汉大学,2016.
- [22] 黄祥云,何磊,曾亮亮,等.晶界扩散 Dy₆₀Co₃₅Ga₅ 合金对烧结钕铁硼磁体磁性能及热稳定性的影响[J].*有色金属科学与工程*,2019,10(2):104–109.

(上接第 43 页)

- [16] 陈强,张春渤,谢建生.离子束增强沉积制备 Li 掺杂 ZnO 薄膜[J].*常州大学学报(自然科学版)*,2014,26(1):6–9.
- [17] 张雪,常伟杰,张豪,等.磁控溅射 Cr/CrN/CrAlSiN 复合涂层高温氧化行为研究[J].*江西科技师范大学学报*,2019(6):31–35.
- [18] MANWENDRA K, TRIPATHI P P, SUBHAS G. Multivariate analysis and classification of bulk metallic glasses using principal component analysis[J]. *Computational Materials Science*,2015,107: 79–87.
- [19] 邢逸凡,王伟丽,郑风勤.Mn 对 CoCrFeNi 基高熵合金组织及性能的影响[J/OL].*热加工工艺*,2020(10):37–40.
- [20] 苗振旺,祝夫文,刘琪.CoCrFeNiCuTi_x 高熵合金的微观组织与耐腐蚀性能研究[J].*粉末冶金技术*,2020,38(1):10–17.
- [21] PENG Y B, ZHANG W, LI T C. Microstructures and mechanical properties of FeCoCrNi high entropy alloy/WC reinforcing particles composite coatings prepared by laser cladding and plasma cladding[J]. *Elsevier Ltd*,2019,84:44–50.
- [22] LIN Q Y, LIU J P, AN X H. Cryogenic –deformation –induced phase transformation in an FeCoCrNi high –entropy alloy [J]. *Taylor & Francis*,2018,6(4):236–243.
- [23] 徐泽洲,何志军,王志英.CoCrFeNi 系高熵合金研究进展[J].*辽宁科技大学学报*,2019,42(5):350–356.
- [24] WU W Q, SONG M, NI S, et al. Dual mechanisms of grain refinement in a FeCoCrNi high –entropy alloy processed by high –pressure torsion[J]. *Nature Publishing Group UK*,2017,7(1).
- [25] LIU B, WANG J S, LIU Y, et al. Microstructure and mechanical properties of equimolar FeCoCrNi high entropy alloy prepared via powder extrusion[J]. *Intermetallics*,2016,75:25–30.
- [26] 苏允海,邓越,窦丽杰,等.Mo 元素含量对 FeAlCuCrNiMo_x 系高熵合金组织结构及性能的影响[J].*焊接学报*,2019,40(9):111–115.
- [27] 邓越. Mo、Nb、Ti 元素对 FeAlCuCrNi_x 系高熵合金组织性能的影响[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2019.
- [28] 刘旋,陈雨琳.不同碳含量碳钢淬火态马氏体精细结构[J].*材料热处理学报*,2018,39(7):86–91.