

基于专利分析的先进铸造前沿热点技术研究

樊璐璐, 吴进军, 邱 城, 刘晓飞, 袁志勇

(中机生产力促进中心, 北京 100044)

摘要: 基于“智慧芽”平台专利数据预判铸造领域的前沿热点技术, 分析其全球分布情况及发展态势; 采用可视化方法展示细分领域的重点研发团队与技术创新状况, 分析其技术实力和核心技术竞争力, 发现与之核心技术相关联的机构。结果表明: 日本、美国、德国高价值专利遥遥领先, 中国铸造技术专利数量较多, 但质量有待提升; 铸造前沿热点技术主要集中在高温合金及轻合金精密铸造成形、铸件质量检测和铸模制造等技术方向; 其高温合金与钛合金铸件的应用主要集中在航空航天领域, 大型复杂铝、镁、钛轻合金铸件的应用主要集中在汽车、轨道交通及医疗器械等领域。

关键词: 专利分析; 铸造; 轻合金; 成形

铸造作为铝、镁、钛合金等轻量化材料和高温合金零部件加工的主要手段之一, 在航空发动机和地面燃气轮机用高温合金叶片^[1], 航空航天与汽车等用高端铝、镁合金铸件^[2], 航空航天及船舶用超大型钛合金精密铸件等材料的零部件成形中发挥着重要作用^[3-4]。专利文献作为技术创新的重要记录, 其涵盖的引文信息可同时体现技术的连续性和承接性, 可用于分析技术领域热点和预测技术趋势^[5]。因此, 本文基于专利分析法开展先进铸造技术与装备前沿热点研究, 有利于我国相关行业把握先进铸造技术的研发重点和政策走向, 支撑航空航天、汽车、船舶及轨道交通等重点领域发展。

1 数据分析方法与来源

1.1 专利分析法

基于专利文献的分析方法, 通过对专利说明书和公报中大量零碎的专利信息进行分析与处理, 结合统计学方法及策略使相关信息转化为可预测技术领域分布及发展规律的多种数据形式, 以供研究人员参考, 从而为未来技术需求、产品研发重点及相关政策走向提供指导方向。专利分析法在总结前沿热点技术发展规律, 预测相关分支学科领域的发展趋势, 对竞争对手进行比较, 分析其技术实力及影响力, 找出核心技术, 发现与技术相关联的机构等方面显示出的独特优势^[6]。

1.2 数据来源

本文采用致力于在线和内部专利搜索和分析服务的“智慧芽”专利平台^[7]提供的专利数据库, 该数据库收录了欧洲专利组织、世界知识产权组织、美国、中国、德国、日本、台湾等116个地区或组织超过1.2亿余条的专利数据, 支持中、英、日等多语言全文搜索。文本聚类、专利地图等功能可以准确分析专利前沿热点的分布情况。

1.3 铸造技术专利检索

本文利用“智慧芽”平台检索了50多个国家与地区的铸造技术专利, 检索时间为2019年11月, 覆盖领域主要包括: 熔模铸造、消失模铸造、金属型铸造、陶

作者简介:

樊璐璐(1989-), 女, 工学博士, 在站博士后, 主要从事机械结构多目标优化设计, 热加工工艺, 装备制造研究热点工作。

E-mail: lulu_alisa_fan@163.com

中图分类号: TG2-03

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)12-1277-07

收稿日期:

2020-03-09 收到初稿,
2020-04-10 收到修订稿。

瓷型铸造、砂型铸造、真空铸造、重力浇铸、压力（低压、高压）铸造、挤压铸造、定向凝固、反重力铸造、快速铸造、单晶叶片铸造、高温合金铸造、铝合金铸造、镁合金铸造、钛合金凝壳熔铸、薄壁件铸造、精密铸造、铸造模具、铸件检测、铸造智能化、铸造仿真软件等。

2 全球铸造技术分析

2.1 铸造专利申请趋势与发展阶段

作者首先利用大数据专利分析平台，获得了2000年至2018年轻合金、高温合金等领域申请的先进铸造技术相关国内外专利，剔除无权、失效、撤回等无效专利后，绘制了2000–2018年专利数量随时间的变化曲线，如图1所示。由图1可知，国内外针对铝、镁、钛合金，高温合金加工成形的先进铸造技术相关专利数量总体呈现逐年上升趋势，近几年变化较为平稳且略有下降。分析可知，面向航空航天、汽车等重点领域的轻合金、高温合金铸造成形，铸造模具设计与制造等方向的先进铸造技术已经逐渐趋于成熟。近年来多在铸造基础工艺、模具设计细节、智能化技术融合等方面有所更新和提升。

2.2 主要国家或地区专利分布

本节首先基于专利检索结果分析了主要国家或地区在铸造领域的专利申请数据排位，如图2所示。由图2可知，专利数量居前六位的国家分别是中国、日本、美国、韩国、德国、加拿大。然后利用“智慧芽”专利价值评估功能，筛选出专利价值大于10 000美元的高价值专利，专利数量居前五位的国家分别是：中国、日本、美国、德国、加拿大，如图3所示。由此可判断，在先进铸造领域我国申请专利总数和基于一定价值的专利数量均处于国际前列，部分先进铸造技术处于国际领先水平。

3 铸造领域前沿热点技术预测分析

3.1 铸造前沿热点技术专利地图

专利地图是数据分析平台利用统计学对各种与专利相关的资料、信息进行缜密剖析与整理，并加以制成的各种可分析解读的图表，常用于总结和分析技术分布态势。“智慧芽”平台提供的基于机器学习的文本聚类功能，可根据词类、词频等提炼出技术研究热点，并绘制出相关专利地图。

为了系统地分析铸造技术在机械加工中应用的主要领域、核心环节及其作用，本节基于铸造领域热点技术发展趋势，经反复检索、修正关键词，最终提炼出铸造领域热点技术的专利地图，如图4所示。其

中，不同颜色面积越大，表示该关键词下的专利数量越多，部分突起则表示相应标签为该领域的研究热点和重点。分析专利地图分布情况可知，铸造领域申请的专利主要集中在航空航天、船舶等重点领域用内燃机、燃气轮机、汽轮机及发动机叶片等高温合金部件的精密制造成形；汽车、轨道交通等领域用铝、镁及钛合金制的管材、板件及复杂薄壁件等精密铸造成

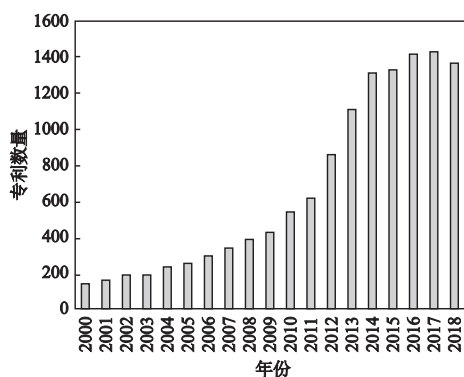


图1 专利数量随时间的变化趋势

Fig. 1 Change of the number of patents with time

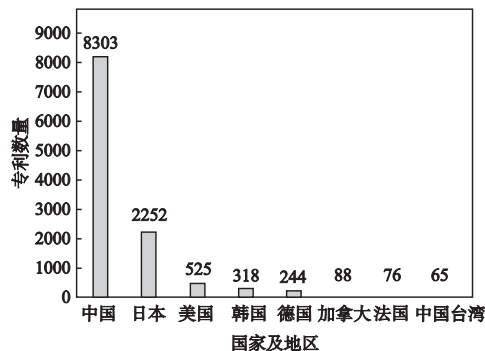


图2 主要国家与地区铸造专利分布

Fig. 2 Distribution of foundry patents in major countries and regions

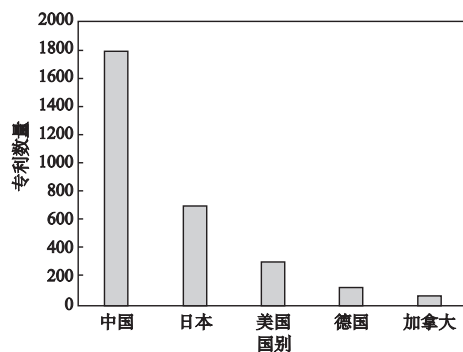


图3 基于专利价值的主要国家铸造专利分布

Fig. 3 Distribution of foundry patents in major countries based on patent's value

形；压铸、连续铸造及离心铸造等先进铸造工艺升级；砂模、蜡模及熔模等铸造模具的设计与制造技术；以及基于超声波、智能化技术的铸件质量无损检测工具与方法等方面。

3.2 铸造技术领域 TOP10 高价值专利

基于“智慧芽”大数据平台专利数据检索结果，利用专利数据分析法，获得了铸造领域多年来处于领先水平的日本、美国和瑞士等发达国家企业、研究院所在先进铸造技术方面取得的TOP10高价值专利，如表1所示。

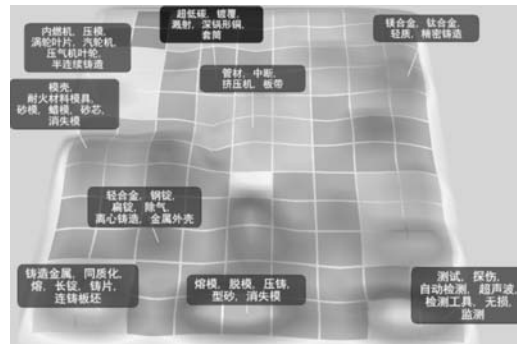


图4 铸造技术领域热点专利地图
Fig. 4 Patent map of advanced foundry technology

表1 铸造领域TOP10高价值专利
Table 1 Top 10 high value patents in foundry field

序号	名称	专利权人
1	用于燃气轮机部件的冷却装置的铸芯	康宁股份有限公司(美国)
2	镁合金材料的制造方法	诺维尔里斯公司(美国)
3	铸造金属的均匀化和热处理	诺维尔里斯公司(美国)
4	复合铸锭的铸造方法	诺维尔里斯公司(美国)
5	使用增材制造和重熔形成单晶部件的方法	联合工艺公司(美国)
6	一种压力铸造装置及压力铸造方法	本田技研工业株式会社(日本)
7	自由铸造方法, 自由铸造设备和铸造	日本电装株式会社(日本)
8	具有微合金添加剂的薄铸造带材的制造方法	纽科尔公司(美国)
9	汽轮机的铸造部件以及汽轮机铸造部件的制造方法	株式会社日本制钢所(日本)
10	一种用于利用二辊铸造装置制造铸造金属带的方法	阿尔帕工业设备制造公司(奥地利)

结合图2、3和表1可知，虽然我国先进铸造领域专利申请的数量最多，部分专利技术也处于国际先进水平，但价值排名前十的专利申请者主要是美国和日本的重点企业和研究院所，且申请重点集中在汽轮机及燃气轮机的关键部件铸造，模具制造，轻合金铸造，单晶高温合金制品的铸造成形工艺与制造方法，及连续铸造设备等领域。

铸造成形仍是先进铸造领域研究热点之一，这与高温合金在航空航天等领域的重要地位密不可分。

(2) 研究热点方向。以高温合金、精密铸造、单晶铸造、燃气轮机和航空发动机铸造成形等为主题进行专利检索，对高温合金精密铸造技术相关专利进行文本聚类，得到了该研究方向的专利地图，如图6所示。分析高温合金精密铸造领域的国际专利地图可

3.3 热点铸造技术解读

3.3.1 高温合金精密铸造技术

高温合金是制造航空、航天发动机和燃气轮机等耐高温部件不可替代的重要材料，也广泛应用于核电、汽车、船舶等重要领域，精密铸造是其大型毛坯件的主要成形方式^[8]。

(1) 发展态势分析。为了分析精密铸造技术在高温合金成形中的应用情况和发展态势，利用大数据专利检索方法，获得了2010~2018年高温合金精密铸造领域相关专利的申请趋势，如图5所示。从图5中可以看出，高温合金铸造技术领域的专利申请数量整体呈现逐年上升趋势，2013~2014年增长迅速，且近几年相关专利增加量基本保持稳定发展，说明高温合金的

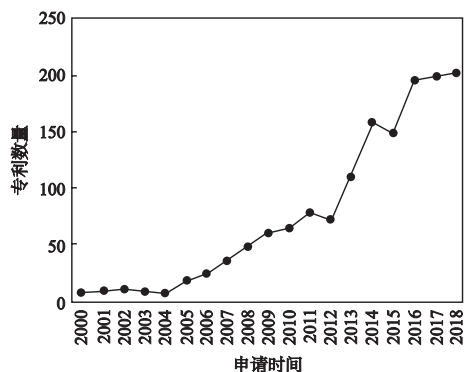


图5 高温合金精密铸造领域专利申请趋势
Fig. 5 The number of patents in the field of precision casting for superalloys

知，该领域的先进铸造技术热点前沿，主要集中于面向单晶涡轮叶片、汽轮机叶片和压气机叶轮叶片等大型复杂件的精密铸造成形，以及铁基、镍基等高温合金的铸造成形问题。

(3) 创新机构分析。观察图7所示的高温合金精密铸造领域的主要创新机构可知，美国通用电气公司专利数量遥遥领先，中国航发沈阳黎明公司居次，日本企业杰富意株式会社列第三。从高温合金领域中国专利权人排名看，专利权人主要集中于航空发动机公司、上海交大等国内优势高校。

3.3.2 轻合金精密铸造技术

(1) 发展态势分析。通过对轻合金精密铸造技术专利的检索，获得了专利申请趋势，如图8所示。从图8中可以看出，从2000年以来，轻合金精密铸造相关技术研究已经取得长足发展，且在2012年以后迎来了较快发展。但最近几年专利数量出现了微小下降，表明轻合金精密铸造技术的研究热度开始趋于饱和。

(2) 研究热点方向。以铝合金、镁合金、钛合金和轻合金铸件铸造成形等为专利检索主题，对轻质合金精密铸造技术相关专利进行文本聚类，得到了该热点研究方向的专利地图，如图9所示。

分析图9所示专利地图可知，航空、航天、汽车及轨道交通等重点领域用铝、镁、钛等轻质合金铸造应用技术是该方向的研究热点，主要包括：轻合金压力铸造技术、半固态成形技术、真空吸铸技术、熔模铸造技术、石膏型铸造技术、金属型铸造技术等。

(3) 创新机构分析。基于轻合金精密铸造领域专利检索结果，对主要创新机构进行排序，获得了专利数排名前10的专利权人，如图10所示。分析图10可知，在铝、镁、钛等轻合金铸造技术相关领域，专利申请量排名前十的单位中有6家是我国的知名企业或高校，3家为日本科研院所，1家美国企业。其中，我国的东北轻合金有限责任公司占据榜首，美国通用全球

技术有限公司紧随其后，这也表明汽车领域的轻合金零部件的相关铸造工艺与技术已成为该领域的研究重点与热点。

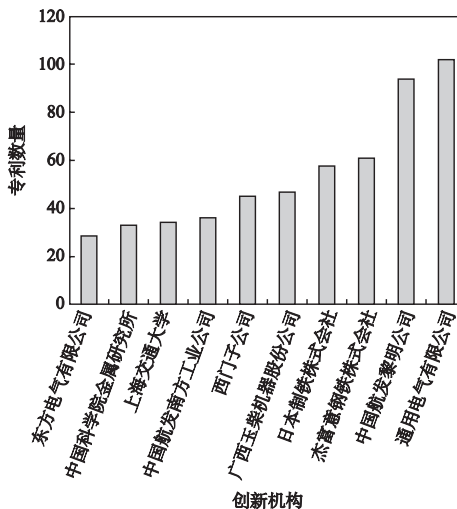


图7 高温合金精密铸造领域创新机构分析

Fig. 7 Venture research institutes in the field of precision casting for superalloys

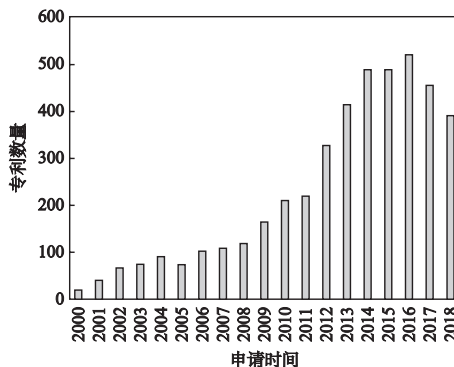


图8 轻合金精密铸造领域专利申请趋势

Fig. 8 The number of patents in the field of precision casting for light alloys

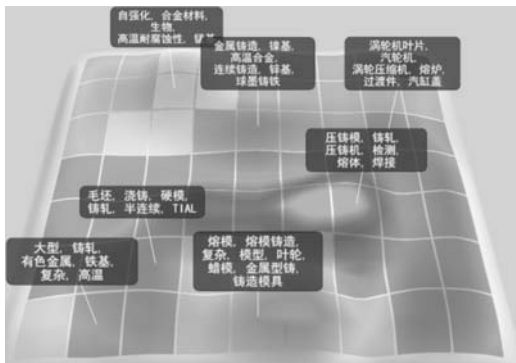


图6 高温合金铸造技术领域专利地图

Fig. 6 Patent map of advanced foundry technologies for superalloys

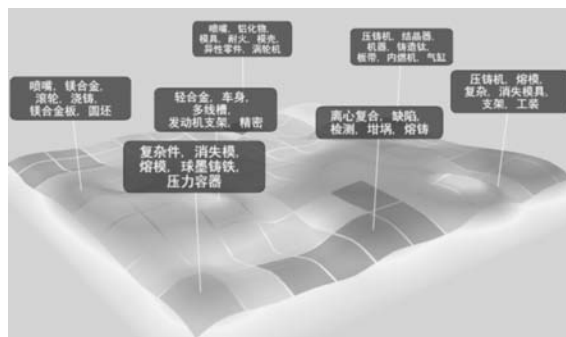


图9 轻合金铸造技术领域专利地图

Fig. 9 Patent map of advanced foundry technologies for light alloys

3.3.3 铸造模具制造技术

铸造模具（以下简称铸模）是铸造生产中最重要 的工艺装备之一，直接影响铸件的质量。铸模设计 与制造技术的提高有利于提高铸件质量，发展新形 铸件，提高近净加工水平，为汽车、船舶、轨道交通、 航空、航天等国家支柱性产业提供更多精密、复杂、 高质量的铸件，将有力促进我国制造业转型升级及整 体水平的提升^[9]。

（1）发展态势分析。基于铸模制造领域专利检索 结果，可绘制其全球专利发展态势，如图11所示。从 图中可以看出，铸模制造技术领域相关专利申请数量 也基本呈现逐年上升的趋势，其中2016~2018年有略 微波动。

（2）研究热点方向。分析铸模制造领域的专利地 图（图12）可知，模具铸造技术相关专利研究主要围 绕砂型铸造模具、压铸模具、熔模铸造、重力铸造模 具等重点展开，涉及轨道交通、汽车、机器人等多个 重点领域，如机器人外壳、汽车发动机油泵、高速列 车电机端盖、飞轮电机外壳等铸造用模具。其中，以 实现精密铸造为目标的熔模铸造技术是研究重点。

（3）创新机构分析。从图13可以看出，铸模技术 领域的主要创新机构多为日本的企业及科研院所，我 国的中国科学院金属研究所和有色金属研究工程技 术研究院有限公司分别排位4、6，这表明我国铸造模 具设计与铸造相关技术在国际上已占有一席之地，竞 争力不断增强。

3.3.4 铸件质量检测技术

铸件质量的检测主要包括铸件表面变形、内腔缺

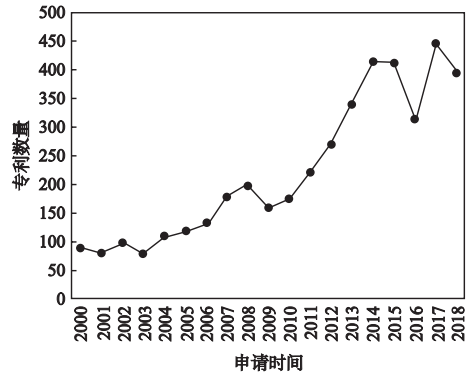


图11 铸模制造技术专利发展态势

Fig. 11 The number of patents in the field of mold manufacturing technology

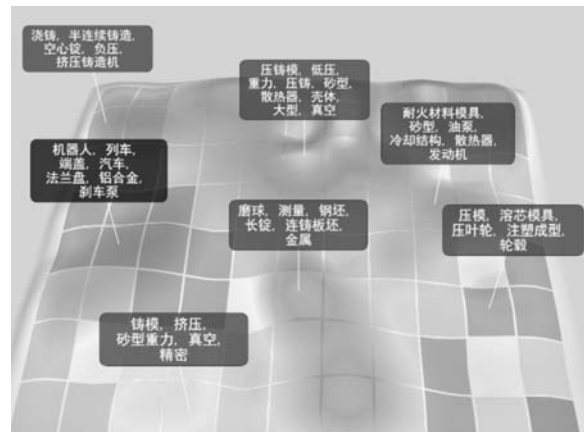


图12 铸模制造技术领域专利地图

Fig. 12 Patent map of advanced foundry technologies for mold manufacturing

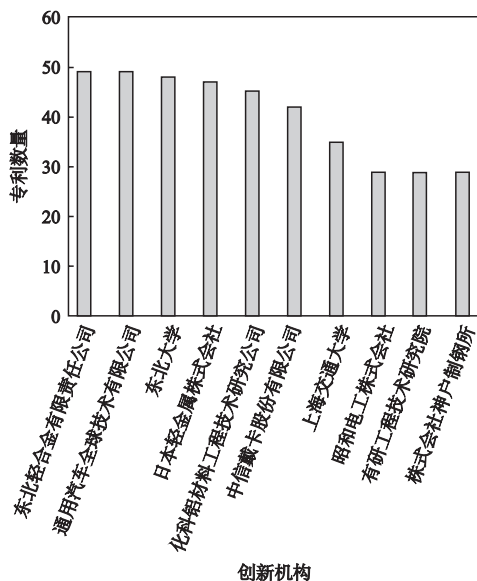


图10 轻合金铸造领域创新机构分析

Fig. 10 Venture research institutes in the casting field of light alloys

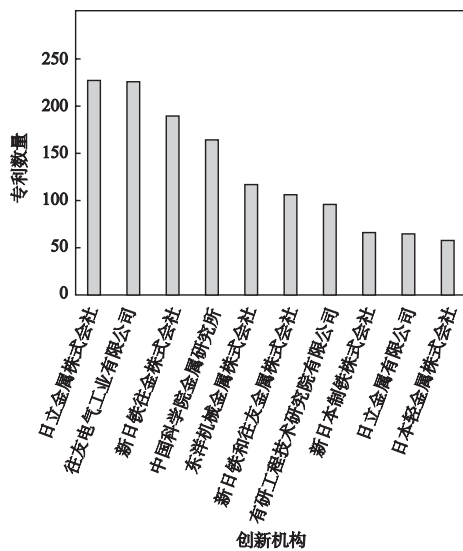


图13 铸模制造领域创新机构分析

Fig. 13 Venture research institutes in the field of mold manufacturing

陷和铸件孔位、密封性和型腔压力检测，化学成分分析和力学性能试验等方面^[10]。

(1) 发展态势分析。对铸件质量检测领域相关检索专利进行申请趋势分析，得到如图14所示的结果。从图中可以看出，铸件质量检测领域专利申请从2000年到2010年发展缓慢；2010年到2018年实现了快速发展；自2016年实现了稳定发展且专利申请量维持在一个相对较高的水平，可见其相关研究在铸造领域及对提高铸件质量的重要性。

(2) 研究热点方向。基于铸件质量检测领域的专利检索结果，对相关的高频、热点主题进行聚类分析，得到了其国际专利地图，如图15所示。分析图15可知，铸件检测主要是基于超声波、X-RAY及智能化等相关技术，结合传感器、机器人与探头等核心装置，实现对铸件表面质量、粗糙度、表面度、变形、密封性、强度、压力等方面的实时在线无损检测。

(3) 创新机构分析。利用专利大数据分析方法，获得了铸件质量检测领域的主要创新机构，如图16所示。从图中可以看出，我国在铸件质量检测方面的创新机构相对较多，申请专利数位于国际前列，其中宝山钢铁股份有限公司申请专利数量最多，这表明我国在铸件质量检测方面的科研投入较大，为提高我国铸件质量及可靠性提供了技术基础。

4 结论

本文从高温合金精密铸造、轻质合金铸造成形、铸件质量检测及铸造模具设计与制造等领域分析了先进铸造领域热点前沿技术的相关专利及其申请态势、区域分布及优势单位，最终得出以下结论。

(1) 我国在铸造领域申请的专利数量较多，但海外专利屈指可数，专利价值明显弱于日本、美国、德国等领先水平国家。

(2) 高温合金及轻合金的精密铸造、铸件质量检测、铸模制造技术及铸造过程的数字化、智能化及绿色化是当前先进铸造领域主要研究热点。

(3) 我国铸模制造和铸件检测领域的专利及创新机构数量位于国际前列，已掌握部分相关核心技术，但与国际领先水平尚存在一定差距，尤其是亟需大力开发与铸件检测系统、智能化工艺等相关的关键核心技术。

(4) 航空航天、汽车、轨道交通等重点领域用铸件正向大型化、轻量化及精确化方向发展；铸造工艺正向智能化、数字化、网络化及清洁化的方向发展；高柔性化铸造生产与检验装备技术，工艺知识库以及工艺、生产、质量的数字化管理及协同技术，铸造车间现场在线管控技术等关键核心技术亟需突破；基于智能化和大数据分析技术的智能化铸造车间和工厂将助推铸造向优质、高端、精密、绿色、高效发展。

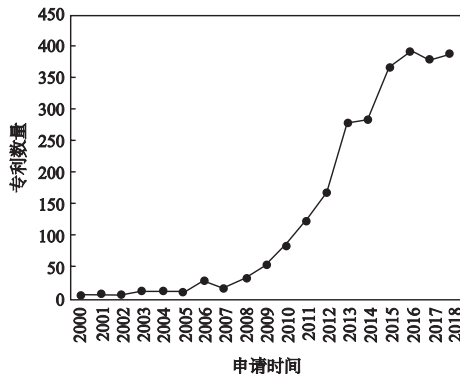


图14 铸件质量检测技术发展趋势

Fig. 14 The number of patents in the quality inspection field of castings

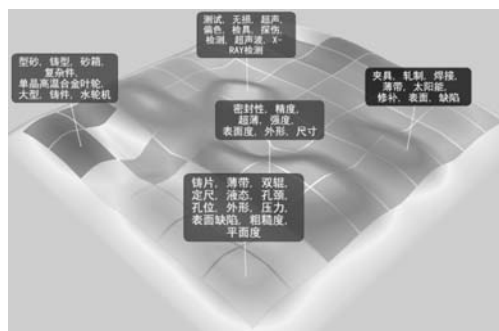


图15 铸件质量检测技术领域专利地图

Fig. 15 Patent map of advanced foundry technologies for quality inspection of castings

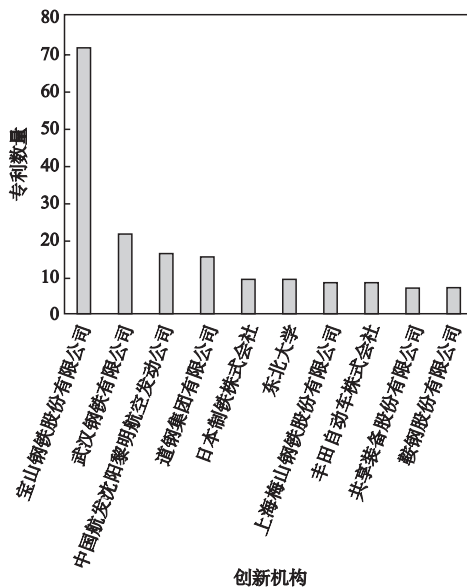


图16 铸件质量检测领域创新机构分析

Fig. 16 Venture research institutes in the quality inspection field of castings

参考文献:

- [1] 赵光普. 高温合金在工业燃气轮机中的应用和发展 [C] // 第八届 (2011) 中国钢铁年会. 2011.
- [2] SHAJI M C, RAVIKUMAR K K, RAVI M, et al. Development of a high strength cast aluminium alloy for possible automotive applications [C]// Materials Science Forum, 2013.
- [3] YANG W G, ZHAO J Q, NAN H, et al. Effects of HIP treatment parameters on microstructure of ZTC4 casting titanium alloy [J]. Cailiao Gongcheng/journal of Materials Engineering, 2011, 1 (9) : 25-28.
- [4] MI Guofa, LI Yanlei, ZHAO Hengtao, et al. Numerical simulation and optimization of Al alloy cylinder body by low pressure die casting [J]. China Foundry, 2008 (2) : 28-32.
- [5] 谢静波. 论专利文献在企业技术创新中的作用 [J]. 科技进步与对策, 2000 (3) : 61-62.
- [6] 黄海波, 谈毅. 专利分析法的应用: 以我国压铸模具专利为例 [J]. 科技管理研究, 2009 (8) : 529-530.
- [7] 王晶. 专利检索分析工具在企业专利信息获取中的作用——以智慧芽为例 [J]. 新西部, 2018, 444 (17) : 58, 61.
- [8] 邹金文, 汪武祥. 粉末高温合金研究进展与应用 [J]. 航空材料学报, 2006, 26 (3) : 244-250.
- [9] 屈伟平. 我国模具制造业发展现状、存在的问题及对策 [J]. 模具技术, 2006 (5) : 59-63.

Research Status and Developing Hotspot of Advanced Foundry Technology Based on Patent Analysis

FAN Lu-lu, WU Jin-jun, QIU Cheng, LIU Xiao-fei, YUAN Zhi-yong
(China Productivity Center for Machinery, Beijing 100089, China)

Abstract:

The developing hotspots of advanced foundry technology and its global distribution and development trend are analyzed based on the patent data of Patsnap platform. Besides, the visualization method has been used to show the key research teams and technology innovation status in the subdivision, to measure the technical strength and core competitiveness, and find out the institutions related to the core technology. The research results indicate that: Japan, the United States and Germany are far ahead in terms of high-value patents; China has a large number of foundry technology patents, but the quality remains to be improved. The cutting-edge hot technologies in foundry industry mainly focus on the precision casting of superalloys and light alloys, casting quality inspection and mold manufacturing and so on. The application of the superalloy and titanium alloy castings is mainly concentrated in the aerospace field, large complex aluminum, magnesium and titanium light alloy castings in automobile, rail transit and medical equipment fields.

Key words:

patent analysis; foundry; light alloy; forming
