高技术通讯 2022 年 第32卷 第4期:421-429

doi:10.3772/j.issn.1002-0470.2022.04.010

基于专利和论文分析的爆炸喷涂技术发展态势研究①

高俊国② 张欢欢 李 岩

(北京航空材料研究院 北京 100095)

摘 要 本文以爆炸喷涂技术专利申请和论文发表数据为基础,从趋势、技术、地域、研究机构4个维度研究分析了爆炸喷涂技术的发展过程和现状。分析结果表明:在发展趋势方面中国正处于爆炸喷涂技术较为活跃的发展时期;在技术构成方面爆炸喷涂工艺方法和涂层制备方法是爆炸喷涂技术最主要的技术领域;在地域分布方面爆炸喷涂技术的技术主导国是美国和俄罗斯,并与中国形成技术竞争关系;在研究机构方面,中国研究机构还有待加强规划并持续深入的开展爆炸喷涂技术研究。此外,通过对爆炸喷涂技术重点专利分析发现,小内孔及复杂零件爆炸喷涂设备研制、爆炸喷涂与其他技术耦合工艺研究、爆炸喷涂涂层材料改性优化以及非金属材料表面爆炸喷涂技术研发应用将是爆炸喷涂技术的潜在发展方向。

关键词 爆炸喷涂; 专利; 论文; 发展方向

0 引 言

热喷涂技术是材料表面工程技术的一个重要分支,在工程化应用方面具有独特的优势。热喷涂是利用某种热源将待喷涂材料(一般为粉末或丝材)加热至熔融或半熔融状态,随后利用高速气流或焰流将其喷射到基体材料表面进而形成所需涂层的工艺[1-2]。热喷涂技术能够赋予材料表面耐磨损、耐腐蚀、耐高温等优良性能,并能够对磨损、腐蚀或加工控制不当引起的零件表面损伤或尺寸超差进行修复,因此在航空航天、机械制造、石油化工等领域均具有广泛的应用[3-5]。

热喷涂工艺方法主要有火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂和爆炸喷涂等,爆炸喷涂属于众多热喷涂技术中的一种。爆炸喷涂首次将气体爆燃波引入热喷涂领域。爆炸喷涂技术(detonation spraying)诞生于20世纪50年代,由美国联合碳化物公司(后期发展为美国普莱克斯公司)的科研人员发明。该公司迄今为止没有公开发表过任何有关爆炸喷涂细节的科技论文,也未对外出售过爆炸喷涂技术和相关设备,仅为客户提供爆炸喷涂涂层的制备服务[6]。爆炸喷涂技术研制成功后,因其制备涂层具有比其他喷涂方法更为优异的涂层质量,得到了人们的广泛认可[7-8]。一般认为,爆炸喷涂技术是当前热喷涂领域内最高的技术,爆炸喷涂具有其他工艺方法无法媲美的优点,如高的结合强度、高的耐磨性、高的致密度等[9-11]。因此,从诞生之初,爆炸喷涂技术就被应用于航空航天和核工业等军事领域,并逐渐向民用品发展,目前已逐步应用于钢铁、能源、汽车等多个领域。

采用文献计量法对于专利、论文进行分析有利于深入了解相关技术的发展过程、发展趋势和存在差距,从而为该领域技术人员提供技术参考,进一步促进相关技术的创新发展。刘健[12]和刘莉等人[13]对冷喷涂技术相关专利的技术分支、各国申请量以及全球重点申请人等进行了统计和分析,对冷喷涂

① 国家科技重大专项(Y2019-VIII-0004-0166)和国家自然科学基金(51201156)资助项目。

② 男,1983年生,博士,高级工程师;研究方向:航空材料技术及标准化;联系人,E-mail: gaojunguo@qq.com。

(收稿日期:2021-03-02)

技术的技术背景和应用领域的发展作了较为系统的介绍,为进一步研究冷喷涂技术提供了理论依据和数据支撑。尹春雷[14]对热喷涂行业的专利现状从申请主体和单位类别两个方面进行了分析,并在企业专利运用方面提出,如何通过多种方式充分利用专利使其成为市场竞争的有力武器,是我国热喷涂企业面临的一个重要课题。Namba等人[15]从日本专利应用的角度分析了热喷涂技术在钢铁行业的发展趋势,研究发现在钢铁行业该技术专利申请的比例比其他工业有所降低,但是从涂层的性能和作用来看,钢铁行业在材料表面的耐磨、改善质量和耐腐蚀性方面仍有较大需求。上述文献仅是从专利的角度对冷喷涂和热喷涂技术的现状进行分析,并无对爆炸喷涂技术领域的具体分析。

本文针对爆炸喷涂技术,从专利和论文分析两个层面以及趋势、技术、地域、机构4个维度研究分析了爆炸喷涂技术的发展现状和趋势,旨在为爆炸喷涂技术的进一步发展提供技术启发和参考。

1 数据来源

本文采用IncoPat全球专利数据库对爆炸喷涂技术专利信息进行检索,采用的检索式为(TIABC=“爆炸喷涂” OR “detonation spraying” OR “detonation spray” OR “detonation gun” OR “D-gun” OR “explosive spray”) AND (TIAB=“涂层” OR “coating”) AND PD=[19500101 TO 20210101],检索日期为2021年1月18日。鉴于爆炸喷涂技术诞生于20世纪50年代,本文专利检索时间范围为1950年1月1日至2021年1月1日,共检索到专利1089件,经过去同族处理后得到专利653件,随后经进一步人工筛选后共得到专利629件,作为本文的专利信息数据分析样本。

本文采用中国知网论文检索数据库对爆炸喷涂技术论文信息进行检索,采用的检索式为(主题%=“爆炸喷涂”or 题名%=“爆炸喷涂”or title=xls(“爆炸喷涂”) or v_subject=xls(“爆炸喷涂”)) AND(年 Between(“19760101”,“20210101”))(中英文扩展),检索日期为2021年1月23日。检索时间范围为1976年1月1日至2021年1月1日,共检索到发表论文780篇,经过人工去噪后共得到论文631篇,作为本文的论文信息数据分析样本。

2 爆炸喷涂技术发展态势

2.1 趋势分析

图1为爆炸喷涂技术专利申请和论文发表趋势。从图中可以看出,爆炸喷涂技术的发展大致经历了3个阶段,分别为萌芽探索阶段、缓慢发展阶段和快速发展阶段。其中,第1阶段为自1952年出现第1件爆炸喷涂专利开始至1976年,是爆炸喷涂技术的萌芽探索阶段。该阶段爆炸喷涂专利相对较少,且无相关论文发表,基本处于爆炸喷涂技术的萌芽和初步探索时期。第2阶段为1977年至2000年,

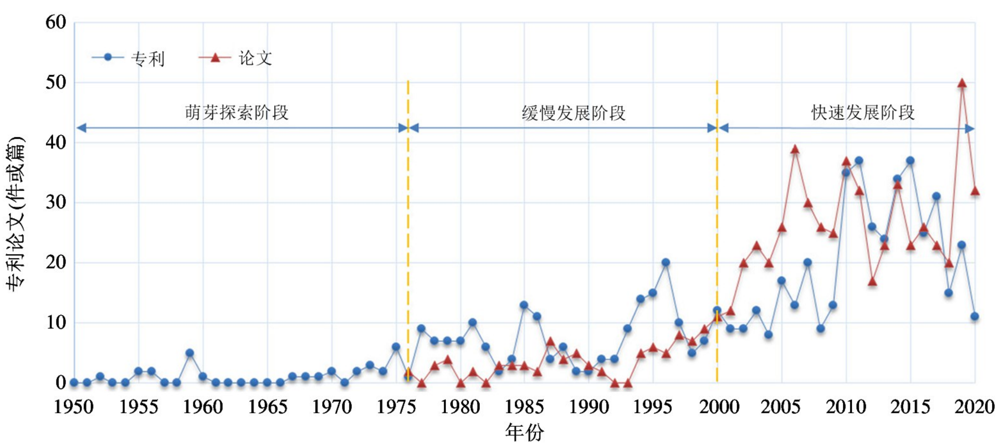

图1 爆炸喷涂技术专利申请/论文发表趋势图

为爆炸喷涂技术的缓慢发展阶段。该阶段无论是爆炸喷涂专利还是论文方面的数量均出现了一定的增长,但总体来看增加较为缓慢且出现一定的波动,说明该阶段爆炸喷涂技术无论在喷涂设备、制备工艺还是涂层材料研究方面均出现了一定的进展,但是各方面仍处于初步发展阶段,尚未形成具有显著技术优势和应用价值的主流技术。第 3 个阶段为 2000 年至今,为爆炸喷涂技术的快速发展阶段。进入 21 世纪后,爆炸喷涂技术相关的专利和论文均出现了快速增长趋势,而且通过对专利和论文趋势的对比可以看出二者除了在具体数量上存在差异外,在趋势细节和波动特征方面较为接近,说明该领域研究人员在专利申请和论文发表方面的活动存在一定的一致性。此外,该阶段爆炸喷涂技术出现的快速发展也侧面说明了进入 21 世纪后爆炸喷涂的主流技术开始出现并且爆炸喷涂技术的具体应用特性和领域也开始逐渐明朗,从而带来相关专利和论文数量的快速增长。

2.2　技术分析

国际专利分类(international patent classification, IPC)代表的技术内容基本能反映爆炸喷涂技术领域发展的重点,根据 IPC 分类号统计频次,爆炸喷涂技术排名前 10 的专利 IPC 技术分类如图 2 所示。从图中可以看出,爆炸喷涂技术专利申请主要集中在 C23C4、B05B7 这两个方向。其中,C23C4 方向的专利申请数量在全部爆炸喷涂技术专利申请数量中的占比最高,以 389 件专利达到61.84% 占比,

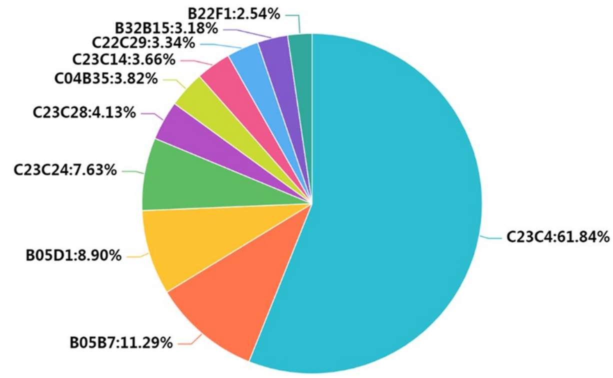

图 2　爆炸喷涂专利技术构成图

所占比例超过了 50%。C23C4 技术方向的具体内容为熔融态覆层材料喷镀法,例如火焰喷镀法、等离子喷镀法或放电喷镀法的镀覆,可见在 C23C4 方向申请的专利主要是针对爆炸喷涂工艺方法以及爆炸喷涂涂层制备方法等方面;B05B7 技术方向以 71 件专利申请占比 11.29% 位居第二,B05B7 技术方向的具体内容为从两个或多个来源喷射液体或其他流体的喷射装置,如喷射液体和空气,喷射粉末和气体,可见在 B05B7 方向申请的专利主要是针对爆炸喷涂设备、粉末控制或气体控制装置等方面。

爆炸喷涂不同技术方向专利申请趋势如图 3 所示。从图中可以看出,专利年申请量超过 25 件的爆炸喷涂技术方向分别出现在 C23C4、B05B7 和 C22C29,其中 C23C4、B05B7 分别是专利申请量位居前两位的技术方向。设备、工艺和材料是一项技术发展最紧密相关的3个方面,C23C4 主要与爆炸

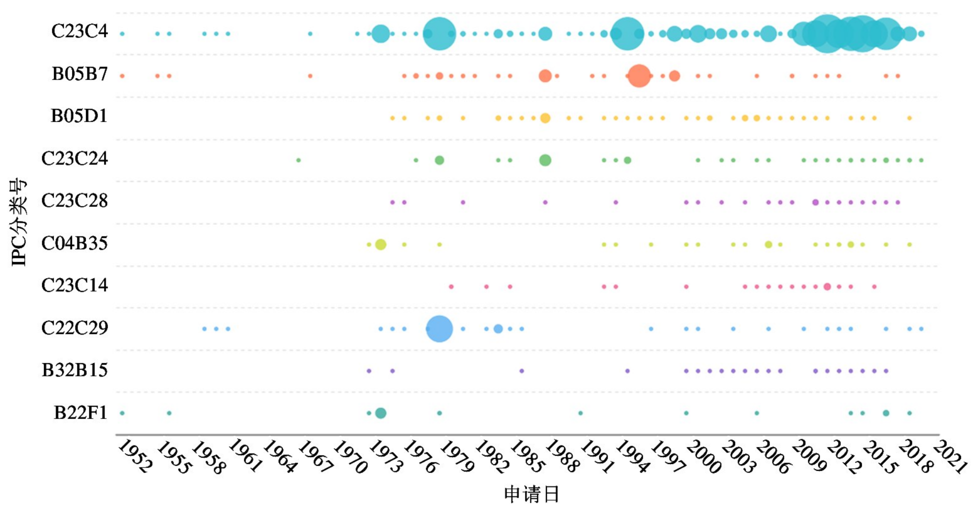

图 3　爆炸喷涂不同技术方向专利申请趋势图

喷涂工艺相对应，B05B7 主要与爆炸喷涂设备制造相对应，C22C29 主要与爆炸喷涂材料相对应。首先，在 1979 年，爆炸喷涂工艺（C23C4）和材料（C22C29）均出现了一个年申请量超过 25 件的小高峰，综合分析 C22C29 技术内容可知此时重点发展的爆炸喷涂涂层材料为金属陶瓷耐磨涂层材料，主要以碳化物金属陶瓷涂层为主，核心材料为碳化钨/钴、碳化铬/镍铬涂层材料，说明在 20 世纪 80 年代左右爆炸喷涂碳化物耐磨涂层技术进入了一个快速发展和实际应用阶段。其次，在 1995 年和 1996 年，爆炸喷涂工艺（C23C4）和设备（B05B7）分别出现了一个年申请量超过 25 件的小高峰，说明在 20 世纪末期极有可能出现了爆炸喷涂设备的创新升级（如设备集成化提升、气体成分优化、喷涂过程气路和送粉系统控制精细化和智能化等）并同时促进了爆炸喷涂工艺的优化改进。最后，在 2010－2017 年连续出现专利年申请量超过 25 件的高峰期，说明在此时间段内爆炸喷涂工艺技术到了进一步的重视和更为广泛的应用。

针对爆炸喷涂技术发表论文的技术领域如图 4 所示。从图 4 可以看出，在众多技术领域中，爆炸喷涂所占比例前 5 名的技术领域分别为金属学及金属工艺、材料科学、无机化学、石油天然气工业、航空航天科学与工程。其中，爆炸喷涂技术在金属学及金属工艺领域所占的比例最大，为 58%，说明爆炸喷涂技术目前应用最广的是针对金属材料基体的表面涂层制备，针对非金属或复合材料基体的涂层制备及应用相对较少；同时也可以看出，石油天然气工业和航空航天工程是爆炸喷涂技术应用的重点领域。

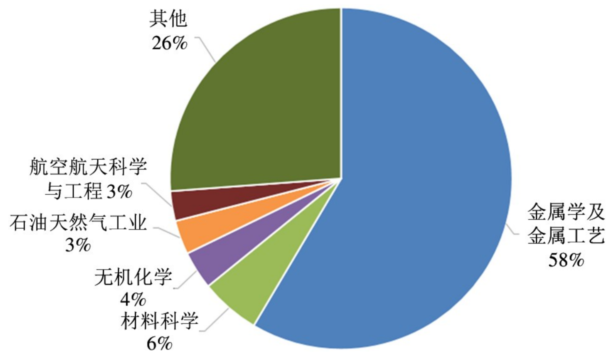

图 4 爆炸喷涂论文发表技术领域图

2.3 地域分析

爆炸喷涂技术专利申请地域排名如图 5 所示。从图中可以看出，中国在爆炸喷涂技术领域的研究和应用表现最为活跃，以 193 件专利排名第一，美国以 117 件专利排名第二，由于俄罗斯是苏联解体的产物，二者存在前后时间关系但基本属于同一地域，因此俄罗斯/苏联以合计 74 件专利超过日本排名第三，说明中、美、俄在爆炸喷涂技术领域的竞争最为激烈。

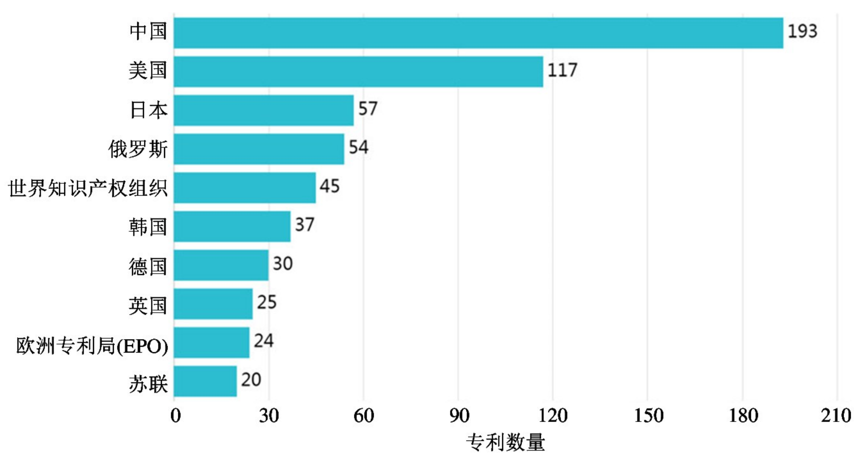

图 5 爆炸喷涂技术专利申请地域排名

中国、美国和俄罗斯/苏联爆炸喷涂技术专利申请趋势如图 6 所示。从图中可以看出，美国于 20 世纪 50 年代最早开始了爆炸喷涂技术的研究；稍晚于美国，俄罗斯/苏联于 20 世纪 70 年代开始了爆炸喷涂技术的研究；而专利申请量最多的中国对爆炸喷涂技术的研究最晚，大致从 20 世纪 80 年代末才开

始出现爆炸喷涂方面的专利申请。从专利申请量上看,美国和俄罗斯/苏联均在 2010 年达到了专利申请的高峰,中国爆炸喷涂技术发展较为迅速,在 2015 年达到了专利申请的高峰,中国的年专利申请量最大值分别为美国的 2 倍和俄罗斯/苏联的 4 倍多。

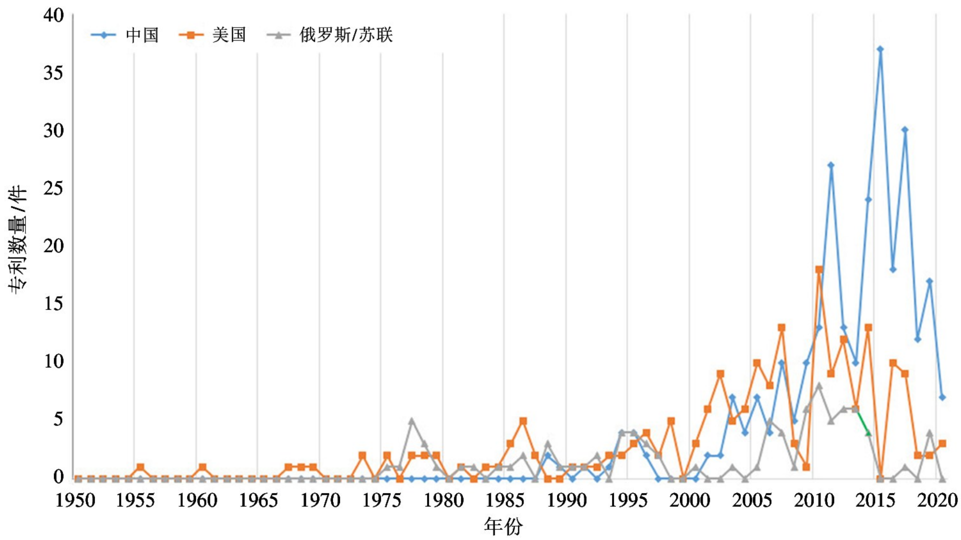

图 6　不同地域爆炸喷涂技术专利申请趋势图

2.4　研究机构分析

爆炸喷涂技术专利申请排名前 10 的研究机构如图 7 所示。可以看出在爆炸喷涂技术排名前 10 的研究机构中国外机构和中国机构各占一半,但通过深入分析发现,联合碳化物公司(Union Carbide Corporation)与普莱克斯技术公司(Praxair Technology Inc)和普莱克斯表面技术公司(Praxair S T Technology)属于同一研究机构的历史发展演化,因此可以归结为一个研究机构。而佛山市康泰威新材料有限公司申请的 8 件专利均是与广东新劲刚新材料科技股份有限公司联合申请的,二者也应归结为一个研究机构。通过机构整合,爆炸喷涂技术专利申请排名前 5 的研究机构如表 1 所示。可以看出联合碳化物/普莱克斯公司在爆炸喷涂市场具有绝对的优势,以近 2 倍于第二位的专利申请排名第一。在排名前 5 的中国研究机构中,企业、研究院所和高校各占一项,说明爆炸喷涂技术在中国的发展相对较为均衡,但总体专利申请量均较少,说明爆炸喷涂技术在中国发展的集中活跃程度不够。

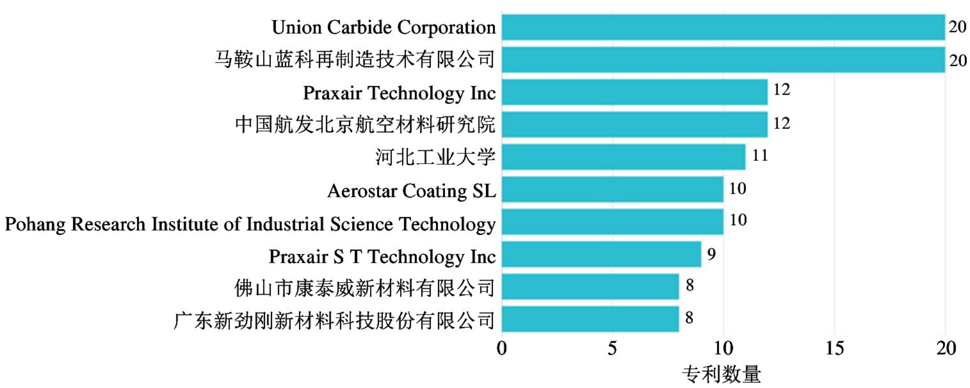

图 7　爆炸喷涂技术专利申请研究机构排名

表 1 爆炸喷涂技术专利申请排名前 5 研究机构

排名	研究机构名称	所属国家	专利申请数量/件
1	联合碳化物/普莱克斯公司	美国	41
2	马鞍山蓝科再制造技术有限公司	中国	20
3	中国航发北京航空材料研究院	中国	12
4	河北工业大学	中国	11
5	Aerostar 涂层公司	西班牙	10

不同研究机构爆炸喷涂技术专利申请趋势如图 8所示。从图中可以看出,联合碳化物/普莱克斯公司自 1950 年至 2020 年基本上持续有爆炸喷涂技术专利申请,说明该研究机构对爆炸喷涂技术的发展和专利布局规划较为明确,而国内主要研究机构的专利申请仅仅是集中在 1 ~3 年的短期时间内,对爆炸喷涂技术专利布局的规划性不强,还有待针对爆炸喷涂技术开展持续性深入研究。

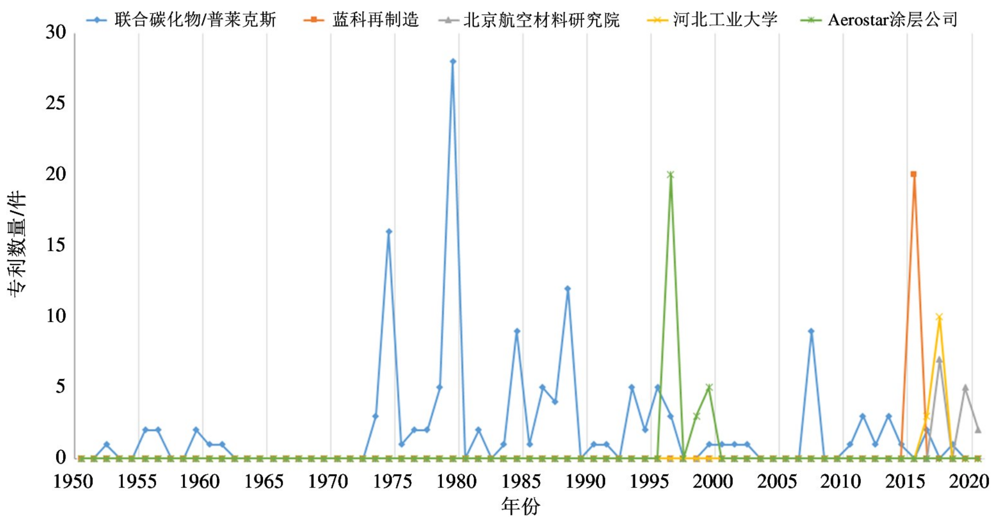

图 8 不同研究机构爆炸喷涂技术专利申请趋势图

国外爆炸喷涂方面论文发表的主要机构如表 2 所示。可以看出,国外在爆炸喷涂论文发表方面的机构主要集中在俄罗斯西伯利亚,包括拉夫伦蒂耶夫流体力学研究所、新西伯利亚国立技术大学和固体化学与机械化学研究所。此外,印度的粉末冶金与新材料国际研究中心和乌克兰国家科学院材料问题研究所也在爆炸喷涂领域发表了一定数量的论文。在论文发表主要机构中并无美国普莱克斯公司等相关机构,也初步印证了前文所述美国普莱克斯表面技术公司至今并没有公开发表过任何有关爆炸喷涂细节科技论文的说法。

表 2 国外爆炸喷涂论文发表主要机构

排名	国外机构名称	所属国家
1	俄罗斯科学院西伯利亚分院拉夫伦蒂耶夫流体力学研究所	俄罗斯
2	粉末冶金与新材料国际研究中心	印度
3	新西伯利亚国立技术大学	俄罗斯
4	俄罗斯科学院西伯利亚分院固体化学与机械化学研究所	俄罗斯
5	乌克兰国家科学院材料问题研究所	乌克兰

中国爆炸喷涂方面发表论文的主要机构如图 9 所示。从图中可以看出,中国在爆炸喷涂领域发表论文的主要机构以高校为主,排名前 10 的机构中有 8 个机构为高校,仅有 2 个机构为研究院所,包括中国航发北京航空材料研究院和中国科学院金属研究所。其中中国航发北京航空材料研究院发表的论文数量最多,并结合专利申请主要研究机构(见表 1)可以看出,中国航发北京航空材料研究院在爆炸喷涂技术研究方面相对深入和活跃。

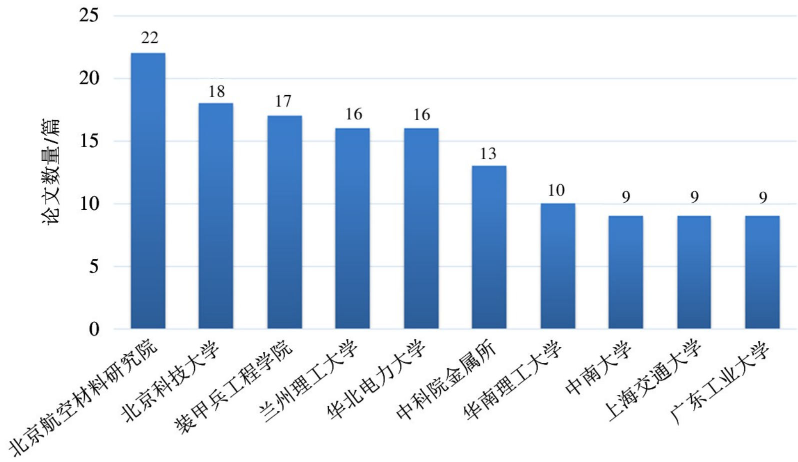

图 9　中国爆炸喷涂论文发表主要机构

2.5　重点专利分析

通过重点专利筛选并经同行专家论证,本文从爆炸喷涂设备、工艺和材料 3 个角度对爆炸喷涂技术重点专利进行分析,并对爆炸喷涂技术的未来发展方向进行简要预测。

在爆炸喷涂设备方面,专利 US6787194(B2)[16] 公开了一种脉冲式爆炸喷涂喷枪,主要由小直径枪管、点火器和涂层材料喷口组成。该爆炸喷涂喷枪设备通过点燃含有涂层前驱体的具有爆燃性或反应活性的混合物在枪管内原位形成涂层材料进而通过喷枪喷口喷射到基体材料表面形成涂层。该爆炸喷涂喷枪尤其适用于小直径零件内表面涂层制备。由于爆炸喷涂是利用燃烧气体瞬间点燃产生的爆轰波实现对涂层材料的熔化并加速喷射到基体表面形成涂层,因此爆炸喷涂设备一般具有较长的枪管并且喷涂时一般在较大的喷涂距离下进行,导致爆炸喷涂在小内孔零件喷涂或复杂形状零件喷涂时存在较大困难。如何充分利用爆炸喷涂高质量涂层的优势并拓展在小内孔零件或复杂零件上的喷涂涂层应用,将是爆炸喷涂设备方面的一个潜在发展方向。

在爆炸喷涂工艺方面,专利 CN104789921A[17] 公开了一种金属表面爆炸喷涂复合涂层的组合工艺方法,该方法在爆炸喷涂前首先对基体表面进行激光烧灼处理,并在爆炸喷涂复合涂层后采用半导体激光器对基体表面的复合涂层进行激光重熔处理。该方法通过将爆炸喷涂工艺与两种激光热处理工艺复合起来,有效地提高涂层与基体的结合力和涂层的耐腐蚀、耐磨损等性能。专利 CN110387518A[18] 公开了一种激光辅助爆炸喷涂的方法,该方法在爆炸喷涂涂层时将激光光束同时作用于基体喷涂区域,从而实现激光辅助爆炸喷涂,该方法有助于实现涂层与基体表面的冶金结合并实现更低的涂层孔隙率。因此,将爆炸喷涂工艺与其他工艺进行联合、耦合以进一步提升涂层质量将是爆炸喷涂工艺方面的一个潜在发展方向。

在爆炸喷涂材料方面,专利 CN106521394B[19] 和 CN106513659A[20] 公开了一种爆炸喷涂石墨烯改性自润滑耐磨涂层及其制备方法,该方法是将石墨烯引入到碳化钨/钴耐磨涂层材料中,利用爆炸喷涂过程较高的粒子速度和相对较低的温度有效避免喷涂过程石墨烯的氧化烧蚀,从而实现爆炸喷涂石墨烯改性碳化钨耐磨涂层的制备。石墨烯的引入能够有效降低涂层的摩擦系数,实现自润滑耐磨功能,从而进一步提升零件的服役寿命。因此对爆炸喷涂涂

层材料的改性优化以获得更为优异的涂层性能将是爆炸喷涂材料技术的一个潜在发展方向。专利CN110257752A[21]和CN110273122A[22]分别公开了一种在树脂基复合材料表面爆炸喷涂制备抗冲刷涂层和隔热涂层的方法,两项专利均是针对树脂基复合材料基体开展爆炸喷涂涂层研究,通过对爆炸喷涂涂层的结构和材料优化设计,提升树脂基复合材料表面的抗冲蚀性能和隔热能力。因此,在目前爆炸喷涂大多以金属材料为基体开展研究的基础上,进一步拓展其在复合材料、非金属材料上的涂层制备和材料优化也将是爆炸喷涂材料技术的一个潜在发展方向。

3 结 论

爆炸喷涂技术是一项可制备高质量涂层的具有广阔应用前景的热喷涂技术。从发展趋势上看,爆炸喷涂技术目前在中国正处于一个较为活跃的发展时期,科研人员仍需在现有研究基础上进一步深入开展爆炸喷涂方面的基础和工程化应用研究工作;从技术构成上看,爆炸喷涂技术目前主要集中在喷涂工艺方法或涂层制备方法方面,在爆炸喷涂设备优化升级以及爆炸喷涂涂层材料创新方面还有待加强;从地域分布上看,爆炸喷涂的技术主导国主要为美国和俄罗斯,中国科研人员应充分消化和借鉴美、俄爆炸喷涂技术的技术优势,并在此基础上开展自主创新,提升中国爆炸喷涂技术的硬实力;从研究机构上看,中国研究机构对爆炸喷涂技术持续发展和创新的规划还较为欠缺,有待通过长时间的深入积累和技术沉淀促进爆炸喷涂技术的高质量发展和应用。小内孔及复杂零件爆炸喷涂设备研制、爆炸喷涂与其他技术耦合工艺研究、爆炸喷涂涂层材料改性优化研究以及非金属材料表面爆炸喷涂研发应用将是爆炸喷涂技术发展的潜在研究方向。

参考文献

[1] 蔡宏图, 江涛, 周勇. 热喷涂技术的研究现状与发展趋势[J]. 装备制造技术, 2014(6): 28-32

[2] 张燕, 张行, 刘朝辉, 等. 热喷涂技术与热喷涂材料的发展现状[J]. 装备环境工程, 2013, 10(3):59-62

[3] 李俊辰, 谢京, 郭双全, 等. 热喷涂材料及其在航空发动机中的运用[J]. 材料导报, 2016, 30(S2): 582-585

[4] 周鸽, 周媛. 热喷涂技术在石油石化行业的应用[J]. 四川有色金属, 2018(3): 62-63

[5] 张作华, 宋广裕. 钢铁金属热喷涂防腐技术[J]. 涂层与防护, 2020, 41(6): 42-46

[6] 王超, 王丽莲, 姜卓. 爆炸喷涂工艺研究进展[J]. 热处理, 2015, 30(2): 9-13

[7] 李俊辰, 付俊波, 何勇, 等. 爆炸喷涂的研究进展及发展趋势[J]. 热加工工艺, 2020, 49(14): 20-24

[8] 许磊, 张春华, 张松, 等. 爆炸喷涂研究的现状及趋势[J]. 金属热处理, 2004(2): 21-25

[9] SUNDARARAJAN G, SEN D, SIVAKUMAR G. The tribological behavior of detonation sprayed coatings: the importance of coating process parameters[J]. *Wear*, 2005, 258(1-4): 377-391

[10] 赵坚, 刘伟, 陈小明, 等. 高温对爆炸喷涂 Cr_3C_2-25NiCr 涂层的氧化行为及性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2020, 41(12): 112-118

[11] 田浩亮, 王长亮, 郭孟秋, 等. 爆炸喷涂 WC-12Co 自润滑耐磨涂层工艺及性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2020, 49(3): 1058-1067

[12] 刘健. 冷喷涂技术专利分析[J]. 科技风, 2019(23): 276

[13] 刘莉, 魏岳山. 冷喷涂表面处理专利技术分析[J]. 中国科技信息, 2019(22): 18-20

[14] 尹春雷. 热喷涂行业专利现状与企业专利运用[J]. 热喷涂技术, 2010, 2(3): 66-69

[15] NAMBA Y, TANI K, 王梦雨. 由日本专利应用看热喷涂技术在钢铁业中的发展趋势[J]. 热喷涂技术, 2012, 4(02): 53-56

[16] EIDELMAN S. Method and apparatus for pulsed detonation coating of internal surfaces of small diameter tubes and the like[P]. US Patent: US6787194(B2), 2004

[17] 王超, 蔡红, 马佳明, 等. 一种金属表面喷涂复合涂层的工艺[P]. 中国专利, CN104789921A, 2015-04-30

[18] 王长亮, 高俊国, 崔永静, 等. 一种激光辅助爆炸喷涂的方法[P]. 中国专利, CN110387518A, 2019-08-16

[19] 田浩亮, 郭孟秋, 汤智慧, 等. 一种石墨烯改性自润滑耐磨涂层[P]. 中国专利, CN106521394B, 2015-10-29

[20] 田浩亮, 郭孟秋, 汤智慧, 等. 一种石墨烯改性自润

滑耐磨涂层的制备方法[P]. 中国专利, CN106513659A, 2015-10-29
[21] 崔永静, 王长亮, 汤智慧, 等. 一种树脂基复合材料导流叶片抗冲刷涂层的制备方法[P]. 中国专利, CN110257752A,2019-07-16
[22] 崔永静, 汤智慧, 王长亮, 等. 聚酰亚胺复合材料外调节片长寿命隔热涂层的制备方法[P]. 中国专利, CN110273122A,2019-07-16

Research on the development trends of detonation spraying technology based on patents and papers

GAO Junguo, ZHANG Huanhuan, LI Yan
(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

Abstract

Based on the data of patent applications and paper publications of detonation spraying technology, the development process and current situation of detonation spraying technology are studied and analyzed from four perspectives: trends, technologies, regions and research institutions. The analysis results show that in terms of development trend, China is in a relatively active development period of detonation spraying technology. In terms of technical composition, detonation spraying process and coating preparation method are the main technical fields of detonation spraying technology. In terms of geographical distribution, the leading countries of detonation spraying technology are the United States and Russia, and their technology competition relationship with China is formed. In terms of research institutions, Chinese research institutions still need to strengthen planning and continue to carry out in-depth research on detonation spraying technology. In addition, through the analysis of key patents of detonation spraying technology, it is found that the development of detonation spraying equipment for small inner holes and complex parts, the coupling process research of detonation spraying and other technologies, the modification of detonation spraying coating material and the development and application of detonation spraying on the surface of non-metallic materials will be the potential development directions for the detonation spraying technology.

Key words: detonation spraying, patent, paper, development direction