

韩国 WPM 项目智能涂层钢板材料研究进展

罗 晔

(宝钢股份中央研究院武汉分院 武钢有限技术中心, 武汉 430080)

摘 要: 为了成为全球第四大材料强国, 韩国政府雄心勃勃地启动了世界一流材料 (WPM) 项目, 该项目旨在开发十大核心材料, 提升自身材料品牌竞争力, 实现绿色可持续发展, 通过独创和一流的产品提升韩国在全球市场的份额, 同时预计将创造约 32000 个新岗位及可观的经济效益。智能涂层钢板项目作为 WPM 项目中最重要项目之一, 由浦项制铁公司主管, 该钢板材料采用电磁悬浮和诱导加热技术开发, 是一种环保型产品, 实现轻量化的同时, 可以提高汽车、家电和建筑的耐用性, 也可减少污染物的排放, 提高能效和生产效率。

关键词: 韩国; 世界一流材料; 浦项制铁; 智能涂层钢板

中图分类号: TQ173

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2018)01-0049-07

引言

2009 年 11 月, 韩国紧急经济措施委员会提出一项有关改造本国材料产业结构的计划, 认为国家工业竞争力的根基已经从成品、零配件转移到材料, 材料决定成品性能和附加值的时代已经到来, 为此, 应该举全国之力开发抢占全球市场的核心材料, 并尽快实现其商业化生产。为了寻求新的发展动力, 实现绿色发展, 2010 年起, 韩国知识经济部计划在金属、化学、陶瓷、纤维等研究领域提供约 1 万亿韩元的资金支持, 同时由官方指定 10 大 WPM 核心材料项目, 项目的三大原则是: 突破性技术, 产业驱动的方法, 以及开放性创新。

1 智能涂层钢板项目介绍

WPM (World Premium Material, 世界一流材料) 是指韩国自主研制, 具有较高市场支配力的世界级高水平材料。由韩国产业通商资源部和韩国产业技术评价管理院主管, 按照 10 大材料类别

分别设立“企业型”事业团, 从技术开发到商业化生产进行全面统管, 大力开创自主技术, 开发全球领先的材料。如表 1 所示, 其中包括: (1) 智能涂层钢板材料, (2) 超轻量镁材料, (3) 纳米碳复合材料, (4) 功能型高分子 embrain 材料, (5) 柔性显示屏基板材料, (6) 高性能二次电池材料, (7) 生物医疗材料, (8) 半导体用超高纯度碳化硅材料, (9) LED 用蓝宝石单晶材料, (10) 优等碳素纤维材料。

作为开发全球市场通用 10 大核心材料的项目, WPM 项目周期从 2010 年到 2018 年。其中, 2009~2010 年项目立项, 2010~2013 年为项目第一阶段, 2013~2016 年为第二阶段, 2016~2018 年为第三阶段。项目目标是在 2020 年之前使得韩国成为全球四大材料强国之一。截至项目第二阶段, 专利申请量达 1776 件, 注册 415 件, 创造了 5120 个就业岗位, 通过初期商业化生产创效 5900 亿韩元, 民间投资 3.6 万亿韩元^[1], 如表 2 所示。

表 1 WPM 材料项目类别

材料类型	需求行业	项目类型	材料名称
金属	汽车	轻量化	环保型智能涂层钢板
金属	汽车	轻量化	超轻量镁材料
综合	汽车、能源、IT	平台型	纳米碳复合材料
化学	能源、环保	平台型	功能型高分子 embrian 材料
化学	电子	轻量化	柔性显示屏基板材料
化学	能源	未来发展动力	高性能二次电池材料
综合	生物	平台型	生物医疗材料
陶瓷	半导体	未来发展动力	超高纯度碳化硅材料
陶瓷	LED	未来发展动力	LED 用蓝宝石单晶材料
纤维	工业用 增强材料	平台型	优等碳素纤维材料

表 2 WPM 项目推进成果

区别	专利 (件)		岗位人数 (名)	商业化成果 (亿韩元)	
	申请	注册		直接销售	直接投资
第一阶段 (2010~2012 年)	765	62	2479	725	7646
第二阶段 (2010~2015 年累计)	1776	415	5120	5892	36130

WPM 项目已经为中小企业的发展奠定了良好的基础，这 52 家中小企业的销售总额从 2010 年的 32 亿韩元猛增至 2016 年的 2157 亿韩元，雇佣人数从 350 名增至 2214 名，作为项目参与的主力，中小企业的比重已经超过了 35%。

2011 年政府对 WPM 项目的预算为 950 亿韩

元，此后逐年递减，2015 年降为 595 亿韩元，2016 年为 579 亿韩元，政府计划对该项目总投入达 5863 亿韩元，如表 3 所示。为了初期的商业化生产，在 2020 年之前，民间投资总额将增至 10 万亿韩元。截至目前，民间投资额已达 3.6 万亿韩元。尽管政府对 WPM 项目的预算已经有所减少，但民间资本的介入正在不断扩大。

表 3 政府出资情况及计划 (亿韩元)

类别	第一阶段			第二阶段			第三阶段		合计
	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017~2018 年	
政府出资	200	950	900	700	639	595	579	1300	5863

在项目第三阶段，将主要致力于开发全球首创的、高水平材料技术。开发聚酮连续生产等 5 项全球首创技术，开发锌——镁涂层专用宽幅连续高速涂装技术等 18 项全球高水平技术，推广 13 种材料新产品的应用，有望创造 13 万亿韩元的效益，吸引 10 万亿韩元的民间投资，实现 2 万人就业。

作为 WPM 项目中最重要、附加值最高的子项目，智能涂层钢板采用了电磁悬浮物理气相

沉积 (EML-PVD , Electro-Magnetic Levitation Physical Vapor Deposition) 技术。电流通过导体在磁场中受到洛伦兹力的作用，并结合诱导加热的原理，超高速运动的金属蒸汽在钢板表面形成高性能的薄膜涂层。

镀锌钢板主要采用热镀锌或电镀锌方式生产。由热镀锌工艺生产的镀锌钢板或合金化退火镀锌钢板，由于工艺路线简单，并具有相对较高的生产率，因而成本相当低，但易受到镀层重量

的影响，特别是当锌价格高时，镀层重量减少。电镀锌钢板尽管具有优异的表面质量和薄镀层，但由于高能耗、低生产率和昂贵的废水处理，其竞争性不如热镀锌工艺。镀锌工艺的另一制约因素是锌的供应不稳定，这从不断上涨的锌的价格和消耗量可窥一斑^[2]。

就在钢铁企业努力降低涂层钢板生产成本的

同时，客户却越来越迫切地需要低价格、高性能以及环境友好型的产品。为此，Bad Salzungen Alanod、Almeco、安赛乐米塔尔、蒂森克虏伯等全球企业运用物理气相沉积（Physical Vapor Deposition，PVD）的原理已相继开发出新一代的表面处理工艺，产品质量更高，同时镀层更薄，如表 4 所示。

表 4 PVD 技术主要工艺比较

技术类别	EML-PVD	EB-PVD	JET-PVD	Sputter
原理	涂层物质加热蒸发，运动到带钢表面	电子束将涂层物质进行局部加热蒸发，蒸汽移动到带钢表面	金属涂层在坩埚内加热，蒸汽通过喷嘴喷射到带钢表面	氩离子的碰撞将涂层物质原子溅射到带钢表面
开发方	浦项制铁和 CORUS	Bad Salzungen Alanod、Almeco	安赛乐米塔尔、蒂森克虏伯	安赛乐米塔尔
技术水平	中间试验阶段	用于高效反射板	中间试验完成	用于不锈钢彩涂板
涂装速度（涂层厚度 3μm）	200m/min	10m/min	60m/min	2m/min
合金涂层	性能优秀	较难实现	不可	可用于
涂料损失	<0.5%	>70%	<1%	>30%
优点	涂装速度快、能效高	适用于大部分涂料	高速沉积，设备简单	适于各种涂层材料，均匀沉积
缺点	尚未实现批量生产	涂装速度低、蒸汽收得率低、能效低	仅限于低熔点金属涂层，能效低，成本高	不能进行长期连续生产，低能效

从 2005 年开始，浦项制铁与 CORUS（现为塔塔钢铁欧洲公司）合作，利用 EML-PVD 技术开发涂层钢板产品。EML-PVD 技术是一种蒸发技术，采用了感应线圈，通过高频电源产生感应电流，使得涂层金属液滴悬浮于线圈内，同时加热液滴。蒸汽通过一个蒸汽配送箱均匀地送往移动的钢带上。蒸发的金属可由穿过感应线圈底部的一个真空室进行外部供料^[3]，如图 1 所示。

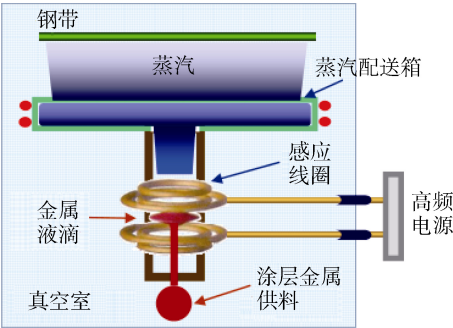


图 1 EML-PVD 原理

采用真空沉积的方式高速生产涂层钢板，不仅可以降低污染物的排放，还可以提高能效。另外，涂层材料采用 Zn-Mg 或 Al-Mg 的复合涂层，厚度仅相当于锌涂层的一半，而耐腐蚀性却可显著提高。与现有的镀锌、镀铝钢板相比，其环保性、耐用性及经济性等指标更胜一筹。与 EB-PVD（电子束物理气相沉积）、JET-PVD（喷射物理气相沉积）、Sputter（磁控溅射）等类型工艺相比，涂覆速度更快，涂层材料损耗更低。如图 2 所示。

浦项制铁技术研究院的智能钢板材料事务局是智能涂层钢板开发事业团的分管研究机构，该机构将智能涂层钢板技术命名为 POS COTE-D（POSCO Smart COating TEchnology-Dry）^[4]。该事业团由光阳技术研究所所长担任事业团团长，另有 20 余家产学研机构共同参与其中^[5,6]，如表 5 所示。

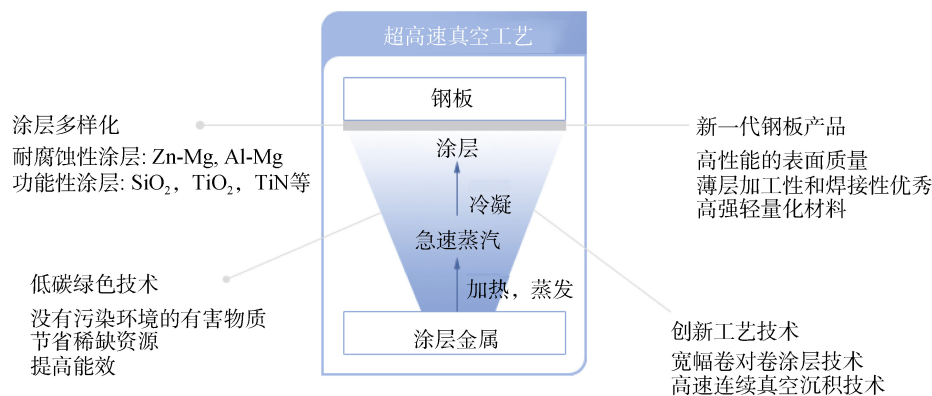


图 2 智能涂层钢板的特性

表 5 智能涂层钢板项目主要参与机构

类别	名称
大型企业	浦项制铁、雷诺三星汽车、LG 电子
中小企业	东部制铁、浦项钢板、联合铁钢、韩国通用汽车、Noroo Coil Coating、奥斯特姆、Vector Field Korea、biz-ocean、TRM、Kostek、infovion、Zeon Consulting
科研院所	光阳技术研究所、浦项产业科学研究院、韩国材料研究所、浦项金属材料产业振兴院、韩国生产技术研究院
大学	韩国航空大学、汉阳大学、釜山大学、仁荷大学、韩国海洋大学、安东大学

光阳技术研究所内的 EML-PVD 实验设备可生产厚度 2mm、宽度 300mm 的 Zn-Mg 涂层钢板。2012 年 3 月浦项制铁在光阳厂区内新建了全宽度 PVD 中试工厂，拥有 WPL 真空系统、WPL 等离子处理系统、EML 系统、WPL 真空锁闭系统、高速宽幅 EML-PVD 高频诱导加热装置等设备，除开发智能涂层钢板和各种涂层的新产品以外，还致力于 Air-to-Air 型连续真空沉积设备、连续真空连续钢带锁闭系统、高速蚀刻用离子枪及宽幅 PVD 涂层设备的设计、制作和运行^[7]。该厂年产量 50 万 t，可生产厚度 0.4~1.5mm、宽度 900~1550mm 的钢带，最高运行速度 140m/min，最大卷重 25t，目标是在 2018 年之前开发涂层厚度为 5μm、防锈时间达 1000 小时的产品，计划以光阳为中心，2020 年增设 2 条、2025 年增设 4 条、2030 年增设 7 条 50 万 t 级的 EML-PVD 生产线^[8]。

2 项目进展

项目从 2010 年 9 月 1 日开始，定于 2019 年 3 月 31 日完成，以 3 年为一个阶段周期。第一阶段是 2010~2012 年，着眼于基础技术的开发，主要

开发卷对卷（Roll-to-Roll）设备技术，掌握不同材料的特性；第二阶段从 2013~2015 年，主要进行中间性试验，对塑性配件进行成型测试；第三阶段是 2016~2018 年，开发量产技术，设计量产设备，对试制产品进行性能和稳定性评价，2019 年实现商业化生产^[9]。项目推进路线如图 3 所示。

项目推进战略主要是：通过“研发+商业+工程”的运作模式，建立商用生产线，实现技术的商业化应用；技术开发与市场应用并行，通过实施 EVI 活动，开发满足客户需求的产品；打造全球化的智囊团队，申请专利保护，搭建市场准入门槛。

技术开发的核心内容是：环保型超高速 EML-PVD 涂层技术；商用宽幅卷对卷涂层技术开发；高耐腐蚀 Zn-Mg 薄涂层材料开发；高耐用性 Al-Mg 系列薄涂层材料开发。阶段性的研究成果如表 6 所示。

最终目标是将实验室的研究成果用于商业技术开发，确保全球领先的智能表面处理钢板材料技术，借助知识产权保护提升市场准入门槛，如表 7 所示。

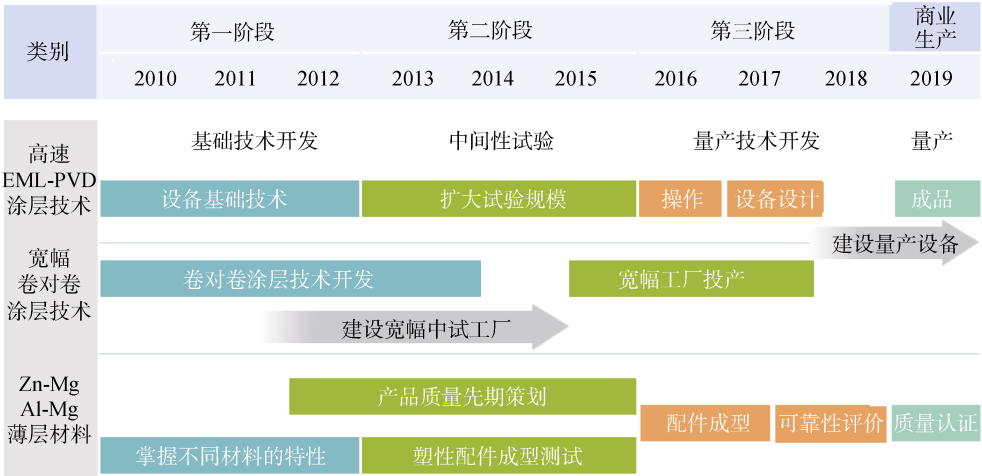


图 3 项目推进路线

表 6 阶段性研究成果

类别	成果
第一阶段	金属涂料连续供料装置的开发 真空连续钢带装置的开发 非金属涂层开发 Al-Mg 涂层特性分析
第二阶段	真空锁闭系统技术开发（Roll&Seals 设计） 等离子体预处理源的设计和性能评价 高速连续 EML-PVD 涂层技术 Al-Mg 涂层不同构造的特性分析 提高离子源性能
第三阶段	Zn-Mg 涂层优化技术 Al-Mg 涂层优化技术 提高产品加工性能，确保质量稳定

表 7 智能涂层钢板的性能指标

类别	锌镁涂层耐腐蚀性	铝镁涂层耐腐蚀性	涂装速度	金属涂层腐蚀速度
实验室水平	120h	200h	200m/min	10μm/min
最终目标（2018 年）	500h	1000h	350m/min	600μm/min

通过前期的积累和持续的努力，项目力争于 2010~2018 年间在设备方面投入 2215 亿韩元，累计创造 1392 人的就业岗位。预计到 2018 年，智能涂层钢板在韩国国内的市场规模将达到 7300 亿韩元，在表面处理钢板市场占比达 8.9%，全球市场规模 71879 亿韩元，市场占有率 3.2%。从 2018 年开始，通过替代进口产品创效 186 亿韩元，出口创效 3000 万美元，到 2020 年预计将分别增至 390 亿韩元、15200 万美元，2021 年分别增至 625

亿韩元、25800 万美元。

3 典型成果

伴随着工业的升级发展，以及客户需求的多元化，市场迫切需要开发耐腐蚀的、多功能的环保型表面处理钢板。传统的熔融镀锌工艺很难将涂层厚度降至 10μm 以下，但如果采用 PosCOTE-D 真空沉积工艺，厚度通常可保持在 1~3μm，甚至降至 0.5μm^[10]。

(1) PosCOTE-UV

有机涂层表面经过常规的加热后, 溶剂挥发不均会导致钢板表面凹凸不平。浦项制铁于 2011 年 8 月开发出了高光泽紫外线涂层钢板 PosCOTE-UV (POSCO smart COating TEchnology-Ultra Violet)^[11] 技术, 采用紫外线技术将 UV 有机溶剂在 30~40℃ 下迅速干燥成为固态。钢板表面平整, 光泽度高, 不仅耐磨, 还耐划伤^[12]。产品适用于冰箱微波炉和洗衣机的外板、显示器 LCD/LED 电视机的前盖和视频显示器的后面板, 以及相应的建筑装饰材料。

UV 涂层钢板的技术原理是: 从生漆中提取出的漆酚具有抗菌性, 其羟基与异氰酸酯基发生重整反应后, 羟基被取代, 经过改性, 降低了羟基的活性, 随后, 不含羟基的漆酚涂层溶剂在 UV 作用下发生硬化反应。光引发剂含量低, 聚合反应速度快, 可以制备表面光泽度高、耐划伤的钢板。基板 UV 涂层厚度为 0.5~20μm, 不仅具有较高的耐腐蚀性和抗菌性, 还提高了远红外线辐射、电磁波屏蔽等作用^[13]。UV 涂层钢板的结构和制造原理如图 4 所示。

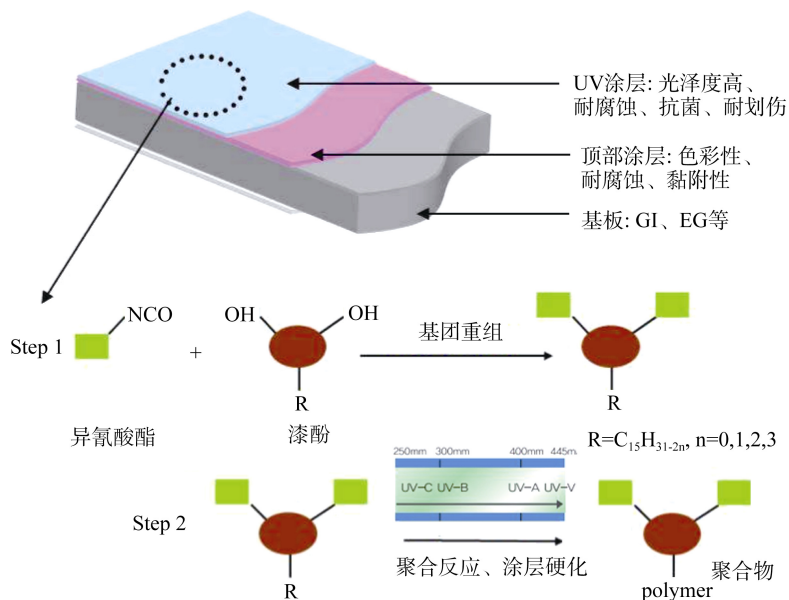


图 4 UV 涂层钢板制造工艺

(2) LED 电视专用散热钢板 PosCOTE-RH

2011 年 11 月, 浦项制铁在世界上首次开发出 LED 电视机专用的散热钢板 PosCOTE-RH (POSCO smart COating TEchnology-Radiating Heat), 该产品具有良好的热辐射性能, 适用于用需要散热的零部件。不同于 LCD 电视机使用产热较少的荧光灯管, LED 电视机使用发热严重的 LED 灯管作为光源, 所以 LED 电视一直使用具有热传导特性的铝材代替钢质材料, 但铝材板的价格偏贵。PosCOTE-RH 可以替代铝材用作 LED 电视机的底盖, 价格则便宜 10%~15% 左右, 具有充分的品质和价格竞争力^[14]。

在 EG 钢板产品两面都有 2μm 的树脂涂层, 涂层中还添加了热传导和热辐射的滤膜, 并控制滤膜在树脂涂层中的含量。产品的热传导率为 68~72W/m·K, 热辐射率大于 0.86, 电导率小于 1mΩ。

该产品获得了韩国专利局的专利授权后, 已经开始批量生产, 并向韩国家电企业供货。用作韩国国内外家电制造企业智能电视和 3D 电视的零部件, 进一步扩大了该钢板产品的应用范围。

4 结语

作为韩国 WPM 这一国家指导性项目的企业

成员之一，浦项制铁已经建立了中试生产线，加快研制智能涂层钢板材料，力争在 2018 年之前实现该类材料的大批量商业化生产。钢板表面利用环保的 PosCOTE-D 技术，涂有锌镁合金或铝镁合金薄膜，从而提高了汽车、家电、及建筑内部和外部装饰用钢板的耐用性。与现有镀锌钢板相比，智能涂层钢板涂层厚度减少一半，耐腐蚀性可提高一倍，更经济、更环保，具有较为广阔的市场前景。基于前期的努力，采用无机涂层的 PosCOTE-UV、PosCOTE-RH 等品牌产品已经成功投入商业化应用。

参考文献

- [1] WPM 참여 中企 매출 67 배 경증...2018 년까지 민간 투자 10 조 유도[N]. <http://www.etnews.com/20160407000234>.
- [2] 杨雄飞. 韩国热镀锌技术的最新进展[N]. 世界金属导报. 2014-01-28 (B04).
- [3] Tae-Yeob Kim, Mark Goodenough. Simultaneous Co-deposition of Zn-Mg Alloy Layers on Steel Strip by PVD Process [J], Corrosion Science and Technology, 2011, 10(6): 194-198.
- [4] 스마트강판, 조기 상용화 계획 '빠그덕' [N]. <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=352851>.
- [5] 세계시장 선점 10 대 핵심소재 사업단(wpm) 선정기업 명단[N]. <http://blog.naver.com/cjh832/150153267026>.
- [6] 10 대 핵심소재 WPM 사업단 본격 출항 [N]. <http://blog.naver.com/smkzizi/140116419340>.
- [7] 주력기산업기술 고도화분야[N]. http://www.nfec.go.kr/prog/facility/nfec/sub06_06/view.do?cntNo=735&kind=2.
- [8] 포스코, 스마트강판 개발 박차 [N]. <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=284313>.
- [9] 스마트강판소재 사업단[N]. <http://www.smartcoating.re.kr/business/summary.php>
- [10] 풍성한 표면공학회 추계 학술대회 -2014.12 [N]. <http://www.sfnnews.co.kr/news/view.html?section=area&category=100&no=2279>.
- [11] 포스코, 세계 첫 자외선 이용 고광택 도금강판 양산[N]. <http://www.nocutnews.co.kr/news/867549>.
- [12] PosCOTE-UV Coated Steel Sheet [N]. <http://www.poscopac.com/ebook/stss/stss/ecatalog66.html>.
- [13] 주식회사 포스코, 옷 유래의 변성 우루시올을 이용한 기재의 표면 처리 방법 ; 韩国, KR1020110077169 [P]. 2011-07-07.
- [14] 포스코, 세계 최초 LED TV 용 방열강판 개발 [N]. http://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/502060.html.

Research Progress of Smart Coating Steel Plate in South Korea's WPM Project

Luo Ye

(Wuhan Branch of Baosteel Central Research Institute, Wuhan 430080, China)

Abstract: The Korean government ambitiously started the World Premier Materials (WPM) project to become the fourth materials power in the world. The WPM-project is a project to develop ten core materials. Through the project, Korea expects to make its own material brand and to create a new green growth engine. It is intended to give Korea continuous market power in the world when it comes to the first and top-class commercial materials, which would create 32,000 new jobs and great economic benefit. As a vital subject of this project, smart coating steel plate is in charge of POSCO, developed by electromagnetic levitation and induction heating. As a kind of environment-friendly product, it could contribute to an increased durability of materials for automobiles, home appliances and construction, while reducing the weight, it would also result in an emission of pollutants and an increase of energy efficiency and productivity.

Keywords: South Korea; World Premier Material; POSCO; smart coating steel plate