

2011 钢铁共性技术协同创新中心
工艺与装备研发平台顶层设计(一)

2011 钢铁共性技术协同创新中心由北京科技大学与东北大学两所核心协同单位,以及国内主要钢铁行业科研院所、企业等共同组建。目前,该中心已正式通过国家认定。该中心由关键共性工艺与装备研发平台和重大工程高端产品开发平台组成。其中,关键共性工艺与装备研发平台由东北大学 RAL 为主体,协同东北大学材料与冶金学院、北京科技大学、中国钢研科技集团、上海大学、武汉科技大学、宝钢、鞍钢、首钢、武钢等单位组建而成。该平台的任务是研发冶、铸、轧等工序的新工艺、新技术、新装备,实现“钢铁绿色制造”。针对工艺与装备研发平台的顶层设计内容,本报特组织相关报道,以飨读者。

创新引领,绿色制造,致力于成为绿色钢铁技术的全球领跑者
——2011 钢铁共性技术协同创新中心工艺与装备研发平台简介

1 背景

钢铁材料应用广泛,作用重大,具有性能可塑、可循环使用等优点,是最重要的结构和功能材料,在国民经济、人民生活、国家安全等方面具有不可替代的作用。我国钢铁工业历经十余年的快速发展,产能产量迅速增长,有力地支撑了我国经济的快速发展。实际上,作为一个迅速崛起的发展中国家,我国正处在工业化进程的中后期,保持相对稳定的钢铁产量仍然是支撑我国产业结构调整的重要保障。但是,目前钢铁工业同样面临前所未有的严峻挑战。资源、能源消耗大、环境污染等问题日益严峻。钢铁行业碳排放达我国各行业碳排放总量的 12%,保护生态环境已刻不容缓。实现钢铁材料的绿色制造和行业的转型发展势在必行。

我国钢铁工业通过引进、消化、吸收与再创新,产线装备基本实现了机械化、自动化、电气化,拥有了几乎全部国际最先进装备。一批自主先进技术获得突破,为我国钢铁工业的发展提供了重要保证。我国钢铁产量长期稳居世界首位,已达世界总产量的 50% 左右。但实际上,我国钢铁行业突出的问题在于关键工艺装备严重依赖进口、产品研发限于跟跑,缺乏自主创新能力。因此,实现钢铁行业的绿色化转型发展,减少钢铁生产工艺过程的资源和能源消耗,减少污染和排放,有赖于关键共性工艺与装备的自主创新和引领发展。

2 平台总体发展思路

结合钢铁行业工艺流程,工艺与装备平台提出了“一个目标”、“三个聚焦”、“四个方向”、“八项技术”的发展思路,“一个目标”即是通过创新引领,转变发展方式,创新驱动发展,致力于成为全球绿色钢铁工艺技术的领跑者;“三个聚焦”即是围绕该目标,聚焦钢铁行业三个典型的生产流程;“四个方向”即是围绕三个典型生产工艺流程,凝练出四个研究方向;“八项技术”即是围绕上述四个研究方向,开发八项关键、共性技术。共性工艺及装备技术研发贯彻“企业

为主体,产学研用结合”的发展指导方针,以 R(基础研究)&D(技术开发)E(工程转化)S(行业推广)为中心创新机制,形成以市场(M)—基地(L)—钢厂(P)—市场(M)的循环创新机制和理论(T)—工艺(T)—装备(E)—产品(P)—应用(A)一体化的创新机制为核心的技术创新路线,切实以市场需求为导向,打通教育、科技与经济之间的通道,多学科交叉协同,实现科研成果的转化,培养复合型、实践型人才,服务行业转型发展,进而提升高校学科水平,实现科研、人才、学科三位一体,全面发展。

3 聚焦三个生产流程

以冶炼和冷轧工序为基础,聚焦钢铁行业三个典型的热轧生产流程,突破关键共性技术。其一是针对常规板坯钢铁生产流程产线,以“凝固—热轧—冷却—热处理一体化组织性能控制”为研究重点,实现炼钢、连铸以及绿色热轧领域的共性技术突破,通过再造一个绿色化的热轧钢材成分和工艺体系,实现热轧钢材产品的更新换代,为解决资源、能源、环境等瓶颈问题做出贡献。其二是针对薄板坯连铸连轧生产流程产线,以汽车用先进高强钢(AHSS)开发生产为重点,形成薄板坯无头/半无头轧制+无酸洗涂镀制备热轧 AHSS 的短流程加工理论和生产技术,开发出薄规格热轧先进高强钢并形成批量生产能力,实现热轧 AHSS 的“以热代冷”和“以薄代厚”。其三是针对薄带连铸短流程工艺技术,围绕国际轧制技术领域前沿性、战略性技术,以双辊薄带连铸技术制造高质量硅钢和薄规格 AHSS 为研发重点,突破薄带连铸短流程生产工艺关键技术,形成薄带连铸硅钢织构控制理论体系和全新工艺流程、装备及产品技术,开发出完全自主创新的高硅钢、取向与无取向硅钢薄带以及薄规格 AHSS 的制备加工技术。

4 凝练四个研究方向

上述三个热轧工艺流程,前面与冶炼与连铸工序共同对应,后面与冷轧、连退、涂镀工序共同对应,从而构成共性技

术研究的流程主线。在此基础上,凝练形成“先进冶炼、连铸工艺与装备技术”、“先进热轧及热处理工艺与装备技术”、“先进短流程生产工艺与装备技术”、“先进冷轧、退火和涂镀工艺与装备技术”等四个研究方向。

(1)“先进冶炼、连铸工艺与装备技术”方向

国家科技支撑计划课题“低成本、高效化生产洁净钢水的工艺技术”深入研究夹杂物的控制与利用技术,实现理论上的突破与技术创新,研究开发多种精炼设备组合使用技术或同一精炼设备的多功能化技术以及精炼新工艺技术;国家杰出青年基金项目“高品质钢精炼与连铸过程基础理论与应用”研究了高品质钢精炼与连铸过程中钢液流动,凝固枝晶生长、溶质偏析以及夹杂物去除行为,提出了高品质钢精炼与连铸生产过程中组织、成分均质化控制和夹杂物颗粒大小及分布的控制新技术。国家自然科学基金重点项目“钢包底喷粉精炼新工艺应用基础研究”提出了钢包直接底喷粉精炼的新一代钢包喷射冶金工艺,研究并提出了防钢液渗漏的底喷粉元件设计理论,揭示了喷粉元件缝隙内粉剂输送与磨损行为及堵塞机理,研制出具有防钢液渗漏和粉剂堵塞、抗粉气流磨损和耐高温侵蚀的钢包底喷粉元件。

(2)“先进热轧及热处理工艺与装备技术”方向

热轧钢材产量占我国钢材总量 90% 以上,是品种规格最多的轧制钢材产品。基于传统热轧生产工艺过程中存在的资源消耗大、工艺能耗高等问题,通过开发新一代 TMCP 工艺、先进热处理工艺及装备技术,以及涵盖冶炼到轧制工序的一体化组织性能预测与控制技术,实现“资源节约型”和“工艺减量化”热轧钢材工艺开发与应用,再造一个绿色化的热轧钢材成分和工艺体系,为钢铁工业的绿色化转型和可持续发展做出贡献。同时,围绕高附加值高端热轧板、带钢产品先进热处理工艺技术,尤其是极限规格(极薄和特厚规格板

材)产品需求,开发极薄和特厚板材热处理工艺及装备技术。为此,“先进热轧及热处理工艺与装备技术”方向将主要围绕:新一代控制轧制技术与装备、新一代控制冷却技术与装备的拓展应用、极限规格板材离线热处理工艺技术与装备、一体化组织性能预测与控制等研究方向开展工作,重点开展“即时控温的控制轧制装备及工艺”、“热轧线材、管材等新一代控制冷却工艺与装备”、“极限特厚规格板材淬火工艺技术及装备”等三大任务。

(3)“先进短流程生产工艺与装备技术”方向

短流程生产技术相对钢铁传统生产流程具有工序简洁、能耗低、投资小等优势,节能减排效果显著。同时,短流程工艺技术尤其在热轧薄规格产品以及特殊性能要求的产品开发与生产方面具有显著优势,是钢铁工业流程技术开发与应用的重要方面。国家工信部《产业关键共性技术发展指南(2011 年)》等产业指导文件多次将“热带无头/半无头轧制”“薄带铸轧”等列为节能关键技术。因此,开发薄板坯无头/半无头连铸连轧与薄带连铸的工业化生产技术,对于促进我国绿色化钢铁生产以及下游用户的绿色化制造具有重要意义。为此,“先进短流程生产工艺与装备技术”方向将围绕:热轧 AHSS 半无头/无头连铸连轧技术、热轧板无酸洗涂镀技术、双辊薄带连铸高品质硅钢技术等 3 个研究方向开展工作,重点开展“薄板坯无头/半无头轧制+无酸洗涂镀制备热轧 AHSS”、“薄带连铸高品质硅钢工业化技术”、“薄带连铸生产高硅电工钢成套工艺、装备与产品”等重大任务。

(4)“先进冷轧、退火和涂镀工艺与装备技术”方向

先进的轧制、退火和绿色化涂镀工艺与装备技术是高端冷轧板带钢产品生产的关键。目前,我国冷轧产品 AHSS、高质量硅钢、冷轧薄宽带、涂镀板等产品进口比率高,是钢铁材料中自给率和市场占有率最低的产品。这表明我国在冷轧产

品质量和高端产品生产技术等方面与发达国家存在较大差距,急需开发先进的冷轧工艺、装备和产品,促进产品结构调整和技术升级。为此,“先进冷轧、退火和涂镀工艺与装备技术”方向在冷轧工序将围绕冷轧产品的性能、尺寸精度和表面质量等核心问题,主要针对 AHSS、涂镀板、高质量硅钢等高端冷轧材料开展冷轧板形核心控制技术研究,推广已经开发成功的新型高精度板形控制系统,并开展边部减薄控制的研究和工程应用。在连续退火和热镀锌方面,开展横向磁通快速感应加热、气雾喷射式快速冷却、镀层厚度自动控制和镀层厚度均匀性控制等关键技术。

5 开发八项关键、共性技术

围绕上述四个研究方向,开发出新一代钢包底喷粉精炼工艺与装备技术、高品质连铸坯生产工艺与装备技术、热轧—冷却—热处理一体化组织性能控制、极限规格热轧板带钢产品热处理工艺与装备、薄板坯无头/半无头轧制+无酸洗涂镀工艺技术、薄带连铸制备高性能硅钢的成套工艺技术与装备、高精度板形平直度与边部减薄控制技术与装备、先进退火和涂镀技术与装备等八项自主创新的关键、共性技术。

(1)新一代钢包底喷粉精炼工艺与装备技术

针对国内高效、低成本洁净钢的生产迫切需求和当前炉外处理工艺存在流程长(铁水预处理、转炉冶炼、钢包精炼)、效率低(多次扒渣、转炉回硫)等问题,研究开发钢包底喷粉钢水精炼原创性工艺与装备技术。本技术前期得到 NSFC 重点项目“钢包底喷粉精炼新工艺应用基础研究”支持,研究并提出了防钢液渗漏的底喷粉元件设计理论,揭示了喷粉元件缝隙内粉剂输送与磨损行为及堵塞机理,研制出具有防钢液渗漏和粉剂堵塞、抗粉气流磨损和耐高温侵蚀的钢包底喷粉元件。国内钢铁企业对此

上接 B04 版

高度关注,将合作开展系列工业试验和技术实施。

本技术将是 20 世纪提出的喷射冶金技术的一次变革,可称之为新一代钢包喷射冶金技术。该技术不仅可以实现钢水脱硫率 90% 以上、合金的收得率和成分控制精准度得到进一步提高,而且可以实现铁水不经预脱硫而生产超低硫钢以及免 LF 炉加热精炼的目标,从而缩短冶炼周期 15~25min,吨钢降低成本 10~15 元,吨钢节能 2.5~4.5 千克标准煤。

(2) 高品质连铸坯生产工艺与装备技术

高品质连铸坯是高品质钢生产的基础和前提保障。针对我国微合金钢连铸坯普遍存在裂纹和偏析等凝固缺陷,从而制约成材率和高性能品种钢生产的现状,研究开发高品质连铸坯生产工艺与装备技术显得尤为重要。本技术前期得到首钢“首秦高品质厚板坯连铸关键技术开发”、天钢“天钢高品质板坯连铸技术集成与创新”、涟钢“高强一包晶—超低碳系列钢高品质连铸板坯生产技术集成与创新”等企业以及国家杰出青年基金项目“宽厚板连铸结晶器冶金学理论与应用研究”的支持,提出了连铸生产过程中“全弧形锥度结晶器”、“非均匀凝固的末端轻压下”等连铸坯裂纹、组织及成分均质化的控制新技术。本技术工业试验及生产将与宝钢、首钢、天钢、湘钢、涟钢等十余个企业合作开展。

本技术将针对微合金钢连铸坯频发裂纹、偏析、疏松等凝固缺陷的关键问题,形成我国自主的高品质品种钢连铸坯生产工艺、装备、系统集成技术,实现高致密度、均质化连铸坯稳定生产。铸坯表面质量、合格率、中心偏析、疏松、裂纹等相关质量指标达到世界先进或领先水平。

(3) 热轧—冷却—热处理一体化组织性能控制技术

针对钢铁行业热轧钢铁材料传统轧制生产工艺过程中存在的资源消耗大、工艺能耗高等问题,通过开发热轧钢材新一代控制轧制和控制控冷(TMCP)组织调控理论、关键装备与工艺技术,与高品质连铸坯生产工艺与装备技术协同,创新凝固—热轧—冷却—热处理一体化热轧组织性能控制技术,实现绿色热轧技术新突破,再造一个绿色化的热轧钢材成分和工艺体系。

本技术依托于国家“十二五”科技支撑课题“热轧板带钢新一代 TMCP 装备及工艺技术开发与应用”,各类热轧过程的工程技术实施与宝钢、鞍钢、首钢等数十家企业合

作进行,旨在生产节约型、减量化升级换代热轧产品。将针对新一代控制轧制关键技术及装备、复杂断面的热轧钢材高强度均匀化冷却技术、一体化组织性能预测与控制技术以及基于细晶、析出和相变的新一代控轧控冷工艺的钢材综合强化机理等开展系列研究及项目实施,形成新一代控轧控冷工艺、装备体系,建立“资源节约型、节能减排型”的热轧钢材产品绿色制造体系,60%~80% 以上的热轧钢材强度指标提高 100~200MPa 以上,或钢中主要合金元素(Cr、Mo、Mn、Nb 等)用量节省 20%~30%,实现钢铁材料性能的全面提升。

(4) 极限规格热轧板带钢产品热处理工艺与装备

针对我国能源、化工、交通等重点领域关键装备制造所必须的高等级钢板不能满足需求的现状,围绕高等级热处理关键装备和核心技术,开发钢铁行业急需的极限规格淬火和极限低温回火等高端板带钢热处理工艺及装备技术。

本技术由东北大学提供技术支持,与南钢、湘钢、舞阳等企业合作,依托湘钢引进的 3800mm 淬火生产线改造、南钢 5000mm 特厚板、3500mm 中厚板调质线和中低温回火热处理生产线工程等项目,进行工艺、装备、产品开发。针对淬火厚度为 4~10mm 极薄规格和 100~250mm 的特厚规格钢板淬火关键技术和成套装备,大型板带钢低温高精度回火装备技术,超高强结构用钢(Max 1300MPa)、耐磨钢(Max HB600)等高端热处理工艺技术及产品,实现极限规格热处理装备、工艺技术及产品的创新突破。

(5) 薄板坯连铸连轧与无酸洗热镀锌工艺技术及装备

为保证提高钢材的使用效率,需要对钢材进行表面镀锌处理以延长其使用寿命。在传统热轧板镀锌生产工艺中,镀锌之前热轧板酸洗是清洁化生产所面临的最大问题。

本技术前期与宝钢、邯钢、武钢等单位合作,研发短流程生产薄规格热轧高强钢的关键技术、热轧带钢氧化铁皮控制技术、“氧化铁皮还原退火+热镀锌”等工业化生产技术,形成热轧薄规格高强钢免酸洗还原退火热镀锌工艺技术。

本技术将以 CSP 短流程生产线为依托,开发出热轧薄规格先进高强钢表面质量与板形控制技术,利用无头/半无头轧制技术稳定轧制出 1.2~2.0mm 以 AHSS 为代表的薄规格高强度热带产品;开发出无头/半无头轧制 AHSS 的组织控制关键技术及装备、热轧氧化铁皮的精细化控制技术;探索出热轧带钢热镀锌线

上加热—还原过程中氧化铁皮的结构演变规律,创新出热轧高强钢氧化铁皮免酸洗还原退火热镀锌生产流程和关键工艺技术,实现“以热代冷”和“以薄代厚”。此项技术的工业化应用,将因免去酸洗工序而减少酸液蒸汽的排放,热镀锌整体生产效率提高 10%~20%,吨钢成本降低 100~120 元。

(6) 薄带连铸流程制备高品质硅钢技术与关键装备

采用双辊薄带连铸可有效控制电工钢凝固组织和抑制析出行为,是开发无需再加热、无需常化处理、无需两阶段冷轧的短流程、低成本、高效率制造高性能硅钢的全新技术途径。

本技术将以宽度为 1050~1250mm 的无取向与取向硅钢薄带连铸产线和宽度为 550mm 的高硅钢薄带连铸线为依托,开发与高品质电工钢产品相适应的薄带连铸、热轧、冷轧及热处理相关装备,形成一整套具有自主知识产权的、以薄带连铸为核心的高性能电工钢生产工艺流程,开发出薄带连铸工业化关键技术、装备以及全线自动化控制系统,建设我国国内首套完全自主设计开发的薄带连铸生产线,形成成套薄带连铸生产电工钢和薄规格普碳钢的工艺技术。

针对无取向与取向电工钢,探索出电工钢近终成形的凝固组织和全流程织构演变行为,构建硅钢及薄规格普碳钢全流程组织性能控制理论,

开发出高品质电工钢的短流程生产技术,引领钢铁工业在高品质钢材生产领域实现自主创新。该技术生产的电工钢与常规电工钢产品相比,无取向硅钢的磁感强度提高 0.02T,取向硅钢成材率提高 5%。

(7) 高精度板形控制技术与装备

基于板形调控功效系数的多变量优化反馈控制模型,形成矩阵动态优化和自适应智能控制策略,建立多执行机构板形闭环控制系统的解耦控制算法,自主开发冷轧板形核心应用软件,成品带钢板形平直度综合控制精度小于 7I,实现冷轧薄带材平直度高精度板形控制和板形技术的推广应用;硅钢同板差(带钢中心与边部 15mm 处厚度差)小于 6 μ m,实现硅钢薄带边部减薄控制的高精度设定。

同时,研究冷轧板边部减薄控制机理,实现冷轧硅钢边部减薄的自动控制,研究单锥度工作辊窜辊辊型,实现轧制过程的边部变接触功能,提高边部减薄控制效率;开发单锥度工作辊窜辊边部减薄核心控制技术,将预设控制、边部减薄反馈控制和工作辊窜辊的弯辊补偿优化结合,开发出我国冷轧机边部减薄工艺与控制的核心技术。

(8) 先进退火和涂镀技术与装备

针对 AHSS、硅钢和高端家电板等品种,开发基于快速

加热和快速冷却的先进退火工艺和高精度镀层厚度控制技术。开发横向磁通快速感应加热技术,设计高电感匹配感应器,获得均匀温度场,带钢横向稳态温度差小于 $\pm 15^{\circ}\text{C}$,解决薄带钢加热中由于边部效应导致的薄带钢加热温度不均问题。自主研发喷气、气雾和水淬等高速冷却技术,实现从缓冷到 1000 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的柔性化冷却,达到同一产线生产不同性能钢种的目的。采用有限元技术、非线性最小二乘回归算法,进行热镀锌气刀流场的分析和优化,建立长短周期耦合化的镀锌自适应预测模型,解决热镀锌边部增厚问题。开展薄带铸轧高质量硅钢温轧工艺与装备技术研发,实现成卷带材工业化温轧技术示范。

6 结语

在教育部的领导和关怀下,2011 钢铁共性技术协同创新中心得到全面快速建设和发展。共性工艺与装备平台将围绕确立的协同创新目标,着力开发国家急需的行业关键共性技术。围绕上述研发内容,产学研用结合、协同创新,实力实干实效,为我国钢铁行业的绿色转型发展做出应有的贡献。

展望未来,2011 钢铁共性技术协同创新中心将进一步围绕国民经济和行业产业发展的宏大任务,承担重大科研项目,完成标志性科研成果,力争尽快成长为国际一流、全球领先的绿色钢铁技术创新基地。

相关链接

2011 计划,即高等学校创新能力提升计划,是我国继“985 工程”、“211 工程”之后,在高等教育系统启动的又一项体现国家意志的重大战略举措,是推进高等教育内涵式发展的现实需要,也是深化科技体制改革的重大行动。旨在针对新时期我国高等学校业已进入内涵式发展的新形势下,深化高校的机制体制改革,转变高校创新方式,聚焦“国家急需、世界一流”的科研目标,注重原始创新质量,注重解决国家重大需求,解决真正有价值、有意义的重大问题,核心任务是实现人才、学科、科研三位一体创新能力提升。

教育部 2011 协同创新中心分为面向科学前沿、面向文化传承创新、面向行业产业和面向区域发展四种类型。其中,面向行业产业的协同创新中心,是以工程技术学科为主体,以培育战略性新兴产业和改造传统产业为重点,通过高校与高校、科研院所,特别是与大型骨干企业的强强联合,成为支撑我国行业产业发展的核心共性技术研发和转移的重要基地。2014 年 10 月,教育部、财政部下发《关于公布 2014 年度“2011 协同创新中心”认定结果的通知》(教技[2014]5 号),钢铁共性技术协同创新中心名列其中,标志着自 2011 年 8 月以来,按照“2011 计划”精神由东北大学、北京科技大学等协同

单位共同组建的钢铁共性技术协同创新中心,经过近 4 年建设和运行发展,正式通过国家认定。

由东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室为主体,协同东北大学材料与冶金学院、北京科技大学、中国钢研科技集团、上海大学、武汉科技大学、宝钢、鞍钢、首钢、武钢等单位,组建的 2011 钢铁共性技术协同创新中心工艺与装备研发平台,其任务是研发冶炼、连铸、轧制、热处理等工序的新工艺、新技术、新装备,降低生产能耗,提高材料性能,实现“钢铁绿色制造”。经过几年的努力,围绕 3 个重点生产流程,凝练出 4 个研究方向,确定了 8 项重点开发的共性技术。



東北大學
Northeastern University



RAL