铸造实训场景中铸件毛坯精整工艺优化应用探析

钱 骏
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：针对当前工科院校铸造实训中毛坯精整工艺与教学场景脱节、操作标准不清、教学模式固化以及安全与成本管控薄弱等问题，研究开展面向实训教学的精整工艺优化。以学生能力提升为主线，重构毛坯精整全流程工艺体系，建立分级分类操作标准，优化配套教学组织方式，将安全管理与成本控制嵌入工艺实施全过程，形成较为完整的教学管控体系。研究结果表明优化后的工艺体系能够有效提高实训铸件成品合格率，降低安全风险，减少耗材消耗与设备维护成本，增强学生对铸造全过程的工艺认知，规范实操行为，提升职业素养，可为铸造实训教学质量提升提供可操作的实践路径，也可为材料成形类工科实训改革提供参考。

关键词：铸造实训；毛坯精整；工艺优化；实操教学
中图分类号：TG246；G642.44 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-4977（2026）09-1039-06
DOI：10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0132

Application Investigation of Casting Finishing Process Optimization in Foundry Training Session

QIAN Jun
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To address the problems of a disconnect between casting finishing practices and teaching scenarios, unclear operating standards, rigid teaching modes, and weaknesses in safety and cost control in the foundry training of engineering colleges, an optimization of the finishing process for practical training was carried out in this study. Centered on the student competence development, the study reconstructed the entire process for raw casting finishing system, establishing hierarchical and categorized operational standards, optimizing the supporting instructional organization, and embeding the safety management and cost control into the entire process to form a relatively complete teaching management and control system. The practice results showed that the optimized process system could improve the qualification rate of training castings, reduce safety risks, cut consumable usage and equipment maintenance costs, enhance students′ understanding of the whole casting process, standardize practical operations, and cultivate vocational literacy. Therefore, provided a practical path for improving foundry training quality and a reference for optimizing engineering training in material forming disciplines.

Key words: foundry training; casting finishing; process optimization; practical teaching

工程实践是高校实施工程教育的重要组成部分，也是培养卓越工程人才的重要载体。随着社会与工业持续发展，创新型工程人才培养对实践能力与综合素质提出了更高要求[1]。铸造作为材料成形的重要工艺，是机械制造产业链的关键环节，也是材料成型及控制工程、机械设计制造等专业的重要实训内容。铸造实训涵盖模样制备、熔炼浇注、落砂清理和精整检验等环节，各工序既共同决定铸件最终质量，也影响学生对铸造工艺链条的整体理解。毛坯精整作为铸造实训的收尾工序，是保证铸件尺寸精度、表面质量和使用性能的关键步骤，也是推动学生将理论知识转化为实践能力、形成全过程工艺思维的重要载体[2]。然而，当前多数铸造实训中，精整环节仍被简化为单纯的打磨与清理，工艺体系照搬工业量产标准，脱离实训教学情境；教学中偏重动作演示，忽视工艺逻辑阐释；安全与成本管控未能贯穿操作流程。由此导致学生往往

基金项目：国家自然科学基金面上项目资助（52375257）。
收稿日期：2026–05–11 收到初稿，2026–05–31 收到修订稿。
作者简介：钱骏（1987–），男，助理实验师，主要研究方向为机械设计制造及其自动化。电话：13564866037，E-mail：1254048463@qq.com
引用格式：钱骏 . 铸造实训场景中铸件毛坯精整工艺优化应用探析 [J]. 铸造，2026，75（9）：1039–1044.
Qian Jun. Application investigation of casting finishing process optimization in foundry training session [J]. Foundry，2026，75（9）：1039–1044.

停留在机械模仿层面，难以形成完整工艺认知，不规范操作引发的安全隐患较为突出，铸件报废率和实训成本也居高不下，难以有效实现实训教学目标。

1 铸造实训铸件毛坯精整工艺优化意义

1.1 强化学生全流程工艺认知

铸造实训的目标是让学生掌握材料成形全链条工艺逻辑，形成规范实操能力，适配行业岗位需求。铸造全流程的每一个环节都相互关联、相互影响，前序环节的缺陷会直接传递到后续环节。精整环节作为全流程收尾步骤，不仅是修正前序环节缺陷，保障最终成品质量的关键，更是让学生串联全流程工艺，形成完整认知的载体[3]。开展精整工艺优化是将精整环节纳入铸造全流程教学体系，明确每一步操作对应的工艺逻辑，关联前序环节的影响，明确对后续应用的作用，让学生在精整操作中理解前序环节工艺选择对精整操作的影响，理解精整工艺选择对铸件最终性能的作用，将分散的实训环节串联起来，形成完整的全流程工艺认知，从“会操作”升级为“懂工艺”，实现实训教学目标。

1.2 嵌入全流程安全管控，筑牢实操教学安全底线

铸造实训具有高温、高风险的特点，精整环节又是安全风险较为集中的阶段，涉及砂轮机、角磨机、风铲和抛丸设备等多类高速或高冲击设备，操作中易产生金属飞溅、粉尘扩散和设备卡滞等风险，是实训教学中的事故易发环节[4]。通过精整工艺优化可将安全管控嵌入工艺全过程，在各操作步骤中明确防护要求、设备规范和风险控制要点，依据工序风险等级匹配学生操作熟练度，划分相应操作权限。学生能够在学习工艺的同时同步掌握安全规范，在实施操作时落实防护要求，从工艺源头降低安全风险，养成“安全第一”的职业习惯，强化实践教学的安全底线。

1.3 落实全流程成本管控，提升教学资源利用效率

精整工艺优化将成本管控嵌入工艺全流程，明确每一步操作的余量控制标准、耗材使用规范、设备保养要求，从工艺源头降低铸件报废率，减少耗材浪费，延长设备使用寿命。学生在实训过程中理解精益生产逻辑，掌握成本管控的基本方法，养成节约资源，规范操作的职业习惯，符合现代制造业对人才要求，让有限的教学资源发挥最大效用，提升实训教学的可持续性[5]。

2 铸造实训铸件毛坯精整工艺问题

2.1 工艺体系脱离实训教学场景，操作标准缺乏明确界定

当前多数铸造实训所采用的精整工艺，仍直接移植工业量产企业的工艺文件，缺乏基于教学场景的适配调整，难以有效支持实训目标的实现。工业量产工艺面向固定批次、固定结构的铸件生产，通常由经过系统培训的熟练工人执行，其核心目标在于提升效率并保证批量产品质量稳定；而实训教学则以学生能力培养为中心，面对的是类型多样、结构复杂程度不一的铸件以及操作水平差异明显的学生群体[6]。两者在目标定位、实施主体和应用情境上均存在显著差异，简单照搬工业工艺显然难以适配教学需求。部分院校甚至未形成完整的精整工艺文件，仍主要依赖教师个人经验组织教学，而且不同教师因从业背景、操作习惯和经验积累不同，所给出的指导要求往往存在差异，导致同一实训项目在不同班级之间的操作规范与工艺要求不尽一致，削弱实训教学的规范性、统一性和可复制性。

2.2 教学模式固化，学生工艺认知无法匹配实操能力成长

传统精整环节的教学模式普遍采用教师演示、学生模仿、最终检查固化流程，整个教学过程以教师为核心，学生仅作为被动的模仿者，教学重点完全放在操作动作的规范性上，忽略工艺逻辑的讲解。教师在教学中仅演示使用砂轮机打磨浇冒口、清理飞边毛刺，不讲解预留打磨余量的原因、不同材质的铸件采用不同的打磨参数、不同缺陷的处理方式，学生在操作中只知道要把铸件打磨光滑、把浇冒口磨平，不了解背后的工艺逻辑[7]。

2.3 安全成本管控存在明显不足，全流程管控体系未能形成

学生在操作过程中关注是否完成打磨任务、是否达到质量要求，容易忽略安全规范，出现各种违规操作，如不佩戴护目镜、防尘口罩等防护用具，工件夹持不牢就开始打磨，使用砂轮机的侧面打磨，单手操作角磨机等，上述操作都存在较大安全隐患，容易引发安全事故。传统实训中没有建立分层级的安全管控体系，新上手的学生没有经过基础的模拟训练就直接操作高风险的砂轮机和角磨机，容易出现操作失误引发安全问题。实训教师的安全管控停留在现场巡视，发现违规操作后进行制止和纠正，没有从工艺源头规

避安全风险，无法形成事前预防、事中管控和事后复盘的全流程安全管控[8]。在成本管控方面，传统精整工艺体系中缺乏成本管控的相关要求，没有明确的耗材使用标准、余量控制要求和设备保养规范。学生操作过程中缺乏成本意识，随意浪费耗材、过度打磨导致铸件报废、不规范操作导致设备损坏的情况时有发生。

3 铸造实训场景的精整工艺全流程优化策略

3.1 重构适配实训教学的工艺体系，建立分级分层操作标准

在预处理阶段，降低后续操作难度并防止余量失控，明确铸件冷却时间、型砂粗清理要求和浇冒口预切割规范。针对不同材质，应设置差异化冷却时间，例如灰铸铁件冷却时间不少于2 h，铸钢件不少于4 h，以避免高温操作引发烫伤，并保证铸件组织稳定，减少后续打磨缺陷。型砂粗清理宜先采用振动落砂设备清除内腔及表面大面积型砂，再用钢丝刷处理残余砂粒，确保清理完成后方可进入下一道工序，以减少打磨过程中飞砂伤人和耗材异常磨损[9]。浇冒口预切割应使用带锯床完成，并根据铸件尺寸和浇冒口规格预留3~5 mm打磨余量，以避免直接打磨造成余量失控，同时降低后续作业难度、提高加工效率[10]。

在粗整阶段，以去除多余金属、修正较大尺寸偏差为目标，明确不同工具的适用范围、操作参数和作业规范。针对飞边毛刺和分型面错位，可采用风铲清理，并控制其工作压力与进给角度，防止因操作不当造成表面深沟。针对浇冒口预留余量，可采用立式砂轮机进行粗磨，合理控制砂轮转速和进给量，单次打磨深度宜不超过0.5 mm，避免局部过热、加工硬化或尺寸超差。对于内腔残留型砂及复杂结构部位的飞边毛刺，可采用喷丸设备清理，并明确喷射压力、钢丸规格和作业时长，防止因压力过大导致表面变形，或因时间不足影响清理效果。同时，粗整阶段应同步实施尺寸校验，每完成一个关键部位的粗磨后均需使用卡尺检测尺寸，确保精整余量分布均匀，从源头上降低铸件报废风险[11]。

在精整阶段，保障铸件最终尺寸精度和表面质量，达到实训考核要求，建立分级分层的质量标准，适配不同能力层级的学生，实现因材施教。分级标准分为基础达标级、能力提升级、创新拓展级，基础达标级作为所有学生必须完成的考核要求，明确铸件关键尺寸公差控制在 ± 0.5 mm以内，表面粗糙度达到Ra12.5 μm，无明显加工缺陷，飞边毛刺清理彻底，满足实训教学的基本考核要求[12]。能力提升级针对基础扎实、操作熟练的学生，明确关键尺寸公差控制在 ± 0.2 mm以内，表面粗糙度达到Ra6.3 μm，无任何加工缺陷，铸件表面平整均匀，同时要求学生记录不同打磨参数对表面质量的影响，形成操作记录，深化工艺认知。创新拓展级针对能力突出、有探索意愿的学生，不设置固定的工艺要求，引导学生尝试不同的精整工艺；对比不同工艺的加工效率、表面质量、加工成本，形成对比分析报告，培养学生的工艺创新能力和自主探索能力。

在质量校验阶段，全面校验铸件质量，引导学生复盘整个操作过程，深化工艺认知，在此过程中要明确质量校验的具体项目，包括尺寸精度、表面粗糙度、缺陷修复情况、外观质量，每个项目都明确对应的校验方法、合格标准，采用卡尺、千分尺、粗糙度样板等工具进行量化校验，避免主观判断带来的偏差[13]。

3.2 构建工艺逻辑前置，实操分层引导的教学模式

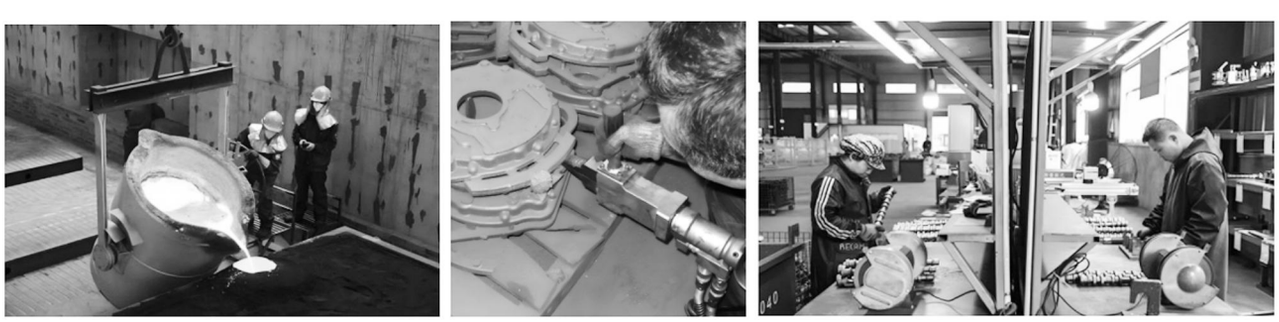
在精整实训正式开始前可以设置2课时的工艺理论教学，实训教师采用案例式教学，结合往届学生实训中出现的典型案例，如过度打磨导致铸件报废、操作不当导致的表面缺陷、违规操作引发的安全隐患、耗材浪费的典型情况，让学生直观理解精整工艺要点、每一步操作对铸件质量、安全和成本的影响[14]。理论教学完成后设置模拟操作训练环节，实训教师采用往届实训报废的铸件让学生进行余量控制的模拟训练，让学生熟悉不同设备的操作方法，感受不同打磨参数带来的操作差异，掌握基本的操作技巧，同时允许学生在模拟训练中试错，降低学生的操作压力，降低实训的试错成本。模拟训练过程中，实训教师针对学生操作中出现的问题及时进行指导纠正，引导学生思考不同操作方式带来的影响，深化学生的工艺认知。在模拟训练通过考核，实训教师确认学生掌握基本操作技能、理解工艺逻辑之后才能进入正式的实操环节，避免学生因为操作不熟练、工艺不理解导致的铸件报废、安全隐患等问题[15]。在正式实操环节，实训教师采用分层引导的教学模式，针对不同能力层级的学生给出不同的教学引导，实现因材施教。针对基础薄弱、操作不熟练的学生，实训教师进行一对一的指导，关注操作规范的落实、安全要求的执行，引导学生完成基础达标级的质量要求，帮助学生建立操作信心，掌握基本的操作技能。针对基础扎实、操作熟练的学生，实训教师引导学生关注工艺参数的优化、

操作流程的完善、挑战能力提升级的质量要求，引导学生记录操作过程中的参数变化、对应的质量变化，深化学生对工艺的理解。针对能力突出、有探索意愿的学生，实训教师作为引导者，为学生提供不同的精整工艺所需的设备和材料支持，引导学生自主设计实验方案，对比不同工艺的效果，完成创新拓展级的任务，培养学生的自主探索能力和工艺创新能力。

以“支架类铸钢件浇冒口精整”实训任务为例，教师先展示铸件毛坯、图纸和缺陷样件，引导学生识读关键尺寸、浇冒口位置、飞边毛刺分布和表面质量要求。随后由学生以4~6人为一组制订精整方案，明确预留余量、工具选择、打磨顺序、安全防护和耗材预算，经教师审核后进入模拟训练。正式操作时，组内设置工艺记录员、设备操作员、安全监督员和质量检验员等角色，按“预切割→粗磨→尺寸复测→精磨→表面检验”的顺序完成任务。每完成一个关键节点，学生需填写尺寸变化、打磨次数、耗材消耗和问题原因，教师依据记录进行即时指导。任务结束后，小组围绕质量偏差、安全隐患和成本浪费进行复盘，提出下一轮工艺优化方案。通过该过程，教学模式从单纯演示模仿转变为任务驱动、数据记录、问题分析和持续改进相结合的综合训练。工艺逻辑前置能够增强学生对专业课程的学习兴趣，使其理解金属材料学、铸造工艺学、公差配合与测量技术等理论知识在真实工序中的应用；分层实操能够提升学生设备操作、尺寸检测和缺陷修复等实践能力；过程记录和质量复盘能够训练学生分析问题、定位原因和提出改进措施的能力；创新拓展级任务鼓励学生比较不同工具、参数和工艺路线的效果，有助于培养创新创业意识；小组分工、方案汇报和复盘答辩能够提升团队精神与表达能力，通过真实任务将专业兴趣、实践能力、分析能力、创新能力、理论联系实际能力、团队协作和表达能力纳入同一训练链条。

3.3 实际生产过程与教学过程分析对比

实际生产过程通常以订单交付、批量稳定、质量一致和成本最优为目标，工序组织强调节拍控制、岗位分工和设备效率，操作人员依据成熟工艺卡、检验规程和安全作业指导书完成相对固定的加工任务[16]。相比之下，教学过程以学生能力培养为核心，既要完成铸件毛坯精整任务，又要让学生理解“为什么这样做”和“不同操作会产生什么后果”，更强调工艺逻辑讲解、分层训练、过程记录和错误复盘。企业实际生产中铸件毛坯精整现场如图1所示。



（a）生产现场铸造环节　（b）浇冒口切割　（c）生产现场质量检测

图1　企业实际生产中铸件毛坯精整现场

Fig. 1 The raw casting finishing sites in the actual production of enterprises

从过程组织看，实际生产中的毛坯精整一般按照“来料检查→浇冒口切割→粗清理→精整打磨→表面处理→质量检验→入库流转”的连续流程实施，各岗位之间衔接明确，质量责任边界清晰，重点在于减少等待时间、返工次数和设备空转。教学过程则可转化为“任务导入→工艺讲解→安全确认→模拟训练→分组实操→阶段检测→教师点评→学生复盘”的学习流程，把生产中的关键控制点转化为教学中的能力训练点。例如，企业生产中对打磨余量的控制主要服务于尺寸精度和返修率控制；在教学中则应进一步要求学生记录预留余量、打磨次数和尺寸变化，使学生理解余量控制与铸件质量、耗材消耗之间的关系。企业生产中对设备点检和防护用品佩戴的要求主要服务于安全生产责任落实；在教学中则应转化为学生进入实操前的准入条件和过程考核内容，使安全规范由外部约束转化为自觉习惯。铸造实训教学中学生分组精整操作现场如图2所示。

在教学评价中，教师采用过程评价、结果评价、发展评价相结合的方式量化实施，建议总分100分。其中过程评价占40分，包括安全规范10分、设备点检与操作规范10分、工艺记录10分、团队分工与协作10分。结果评价占40分，包括尺寸精度10分、表面粗糙度10分、缺陷处理10分、外观质量与成品合格情况10分。发展评价占20分，包括问题分析与复盘报告8分、



（a）学生在教师指导下分组完成铸造和工艺复盘　　（b）学生在实训中心完成后处理

图2　铸造实训教学中学生分组精整操作现场

Fig. 2 Student group operations on the finishing floor during the foundry training teaching

工艺优化建议6分、现场汇报与答辩6分。每项指标均设置A、B、C和D四级评分标准，并尽量用可测数据支撑，例如关键尺寸偏差控制在 ± 0.5 mm以内可评为基础合格，控制在 ± 0.2 mm以内可评为优秀。表面粗糙度达到*Ra*12.5 μm为基础合格，达到*Ra*6.3 μm为优秀。安全违规每出现一次扣2～5分，未完成过程记录不得进入优秀等级。通过量化评分与教师评定、学生自评和组间互评相结合，可避免评价只看成品、忽视过程的问题。对于专业课学习兴趣、理论联系实际能力和创新创业能力等较难直接测量的指标，教师可以采用前后测问卷、实训报告Rubric和项目成果评价相结合的方式量化。实训前后分别开展5级量表问卷，围绕“是否愿意继续学习铸造相关专业课程”“能否解释毛坯缺陷形成原因”“能否提出成本与质量兼顾的优化方案”等指标进行评分；教师再结合学生提交的方案、记录表和答辩表现给出等级评价，形成可追踪的成长档案，使教学评价由单次结果判断转向全过程、可量化和可追溯的综合评价。

3.4　嵌入安全成本管控，构建全流程管控体系

在重构的工艺体系中，每一个操作步骤都有明确对应的安全防护要求、设备操作规范和风险防控要点，让安全要求成为工艺操作的重要部分，而不是独立的附加要求。在预处理阶段，实训教师明确铸件冷却操作规范，严禁学生直接触摸未完全冷却的铸件，避免烫伤风险。浇冒口预切割环节明确带锯床的操作规范，工件必须夹持牢固，严禁单手操作，严禁佩戴手套操作旋转部件；明确对应的防护要求，必须佩戴护目镜，严禁其他学生进入操作区域[17]。在粗整阶段，针对砂轮机操作明确必须佩戴护目镜、防尘口罩和防护手套，工件必须用夹具夹持牢固，严禁单手手持工件打磨，严禁用砂轮机侧面进行打磨，严禁两人同时使用一台砂轮机。实训教师明确设备开机前的检查要求，必须确认砂轮片无裂纹，防护罩完好，设备运转正常后才能开始操作。在精整阶段，针对角磨机操作明确操作角度必须控制在15°~30°之间，严禁打磨片侧面受力，避免打磨片碎裂飞溅，严禁在非除尘工位进行干磨操作。实训教师建立分层级的安全管控机制，根据工序的风险等级匹配学生的操作熟练度，明确不同阶段的操作权限。预处理阶段的带锯床操作、粗整阶段的砂轮机操作属于高风险工序，必须在实训教师全程监护下才能进行，学生必须通过模拟操作考核才能获得操作权限。精整阶段的角磨机、风铲操作属于中风险工序，学生必须完成粗整阶段的操作，确认操作规范达标后才能获得操作权限。喷丸设备操作必须由实训教师亲自操作，学生仅能在安全区域观摩学习，严禁学生自主操作，从权限设置上规避高风险操作带来的安全隐患[18]。

在成本控制方面，也应将相关要求嵌入工艺执行全过程。教师需明确各阶段耗材使用标准、余量控制要求和设备维护规范，从工艺源头降低实训成本[19]。就耗材管理而言，应对打磨片、钢丝轮等耗材规定使用定额和报废标准，实行以旧换新制度，经教师确认已失效后领取新耗材，以减少随意浪费。就余量控制而言，预处理、粗整和精整各阶段均应设置尺寸检测节点和余量判定标准，禁止过度打磨，学生每完成一个阶段都需记录尺寸数据，经教师核验合格后方可进入下一道工序，降低铸件报废率并减少材料损耗[20]。就设备维护而言，学生在作业结束后应及时清理设备表面的粉尘与金属碎屑，关闭电源和气源，按要求完成润滑保养；教师检查合格后方可结束操作，减少由于使用不当或维护不到位引发的设备故障，延长设备使用寿命，降低维护成本。

4　实践成效与社会评价

从教学实践看，精整工艺优化实施后学生的操作规范性和成品质量均得到改善。以材料成型及控制工程专业某轮铸造实训为例，实训教师将同一类型支架铸件作为训练对象，在实施新模式前，学生主要依靠教师示范完成打磨，常见问题集中在余量控制不足、

尺寸复测不及时和安全防护不完整；实施新模式后，学生需先完成工艺方案、模拟训练和安全准入，再按节点完成检测与复盘。对比实训记录可见，学生对浇冒口预留余量、粗磨与精磨分工和尺寸复测节点的理解更清晰，因过度打磨导致的返修明显减少，过程记录完整率、安全防护落实率和实训报告质量均有提高。

在量化成效方面，在2个教学班共80名学生的实训中铸件一次合格率由优化前的约78%提高到约91%，由于尺寸超差造成的返修件比例由约18%降至约7%，单件平均打磨片消耗量下降约12%，实训期间未出现因违规使用砂轮机、角磨机导致的伤害事故。问卷和访谈结果显示，约86%的学生认为该模式增强了其对铸造工艺学和机械制造基础等专业课程的理解，约82%的学生认为小组复盘和答辩提升了问题分析与表达能力，约76%的学生能够主动提出工具选择、打磨顺序或余量控制方面的改进建议。

社会评价方面，校内督导在听课反馈中认为该模式将安全规范、质量检测和成本意识融入工艺流程，增强实训教学的工程性和规范性。参与实训的企业工程师在现场指导后指出，学生能够使用工艺语言说明余量控制、缺陷修复和设备选择的依据，岗位适应性较传统训练更强。部分学生在后续课程设计、学科竞赛和企业认知实习中能够主动引用精整工艺记录方法，对铸件缺陷原因、工艺参数调整和质量改进提出较完整的分析意见。上述评价说明，精整工艺优化不仅改善了课堂训练效果，也增强了实训成果与企业生产需求之间的衔接。

5 结论

研究围绕铸造实训中铸件毛坯精整环节的工艺优化展开，立足工科院校实训教学场景，针对现有实训中工艺体系与教学场景脱节、教学模式固化以及安全与成本管控不足等问题，重构适配实训教学的精整全流程工艺体系，建立了分级分类操作标准，优化配套教学模式，并将安全与成本控制贯穿于工艺实施全过程。实践表明优化后的工艺体系有助于提高铸件成品合格率，降低实训安全风险，减少耗材消耗与设备维护成本，提升实训教学质量，为材料成型类实训课程改革提供参考，有助于为制造业转型升级培养高素质应用型工程技术人才。

参考文献：

[1] 王子虎，侯华，刘志奇. 数智时代创新铸造专业大学生劳动教育的实践路径 [J]. 创新创业理论研究与实践，2025，8（19）：80–82.

[2] 张维. 实训基地铸造实习耗材循环利用模式创新 [J]. 中国农机装备，2025（9）：10–13.

[3] 林森，李跃峰，史丽翠，等. 基于金工铸造技术的工程实训课程改革与探索 [J]. 中国现代教育装备，2025（3）：107–108.

[4] 陈含德，应之歌. 新工科背景下铸造实训教学改进与提升 [J]. 模具制造，2024，24（12）：66–68.

[5] 韩小峰，曹艳丽. 智能铸造产业学院产教融合机制的实践与探索 [J]. 铸造，2024，73（11）：1606–1610.

[6] 关博文，赵作福，杨旭，等. 基于熔模技术的金工铸造实训教学探索与改革 [J]. 辽宁工业大学学报（社会科学版），2024，26（3）：110–113.

[7] 王丽萍，马岱，刘晓微，等. 新工科视角下工程实践教育创新：“精密铸造”教学模式改革与实践 [J]. 机械设计，2026，43（4）：206–211.

[8] 李振波，刘宏亮，杜斌，等. 铸造车间熔炼工部的自动化、绿色化设计实践 [J]. 中国铸造装备与技术，2026，61（2）：36–42.

[9] 阴明，庞雅琪. 铸造虚拟仿真实验的设计与优化研究 [J]. 科技风，2025（32）：146–148.

[10] 潘鸣宇，李锟，王征，等. 热加工实训教学数字化改革探索 [J]. 中国教育技术装备，2025（20）：150–153.

[11] 刘占新，张正琦，贾良，等. 职业学校安全管理产教融合实训基地建设研究——以陕西铁路工程职业技术学院为例 [J]. 湖北应急管理，2025（18）：3–6.

[12] 付辉，李军，李静，等. 基于虚拟仿真的铸造工艺及装备实验教学平台的开发与应用 [J]. 模具工业，2024，50（12）：82–86.

[13] 郝亮亮，王芳，闫献国，等. 新工科背景下铸造工艺学实验教学改革实践 [J]. 铸造设备与工艺，2023（6）：59–62.

[14] 李玉琳. 新工科背景下的铸造工艺实验教学改革与实践 [J]. 中国现代教育装备，2023（1）：96–98.

[15] 郝倩，王方超，陈芳，等. 基于STEM教育的新农科工程能力培养的探索与实践——以西北农林科技大学为例 [J]. 中南农业科技，2025，46（10）：190–194.

[16] 郑成琪，赵信毅，刘海霞，等. 面向智能制造的高校铸造专业教学改革探讨——以江苏大学为例 [J]. 教育观察，2026，15（1）：73–75.

[17] 刘鑫旺，曹华堂，郭树人，等. 学科竞赛赋能大学工科专业课程教学——以“中国大学生机械工程创新创意大赛：铸造工艺设计赛”为例 [J]. 大学教育，2025（1）：6–11.

[18] 胡雄风，林波，王莹. “工程伦理”思政教育下的铸造课程教学探索 [J]. 学术与实践，2024（3）：39–45.

[19] 韩天炜. 基于双创教育铸造专业学生职业能力提升研究 [J]. 铸造，2023，72（8）：1087.

[20] 赵晓瑛. 基于双创教育的特种铸造专业学生就业能力提升研究 [J]. 特种铸造及有色合金，2023，43（3）：446–447.

（编辑：刘东辉，ldh@foundryworld.com）