

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Иванова Дениса Игоревича на тему «Анализ причин раннего выхода из строя и технологии изготовления колосников обжиговых тележек из стали 40Х24Н12СЛ с последующей разработкой технологии выплавки, разливки и термообработки колосников для достижения ими повышенного эксплуатационного ресурса», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 – «Литейное производство» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 29 сентября 2022 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 27 июня 2022 г., протокол № 3.

Диссертация выполнена на кафедре металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – Кожухов Алексей Александрович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 3 от 27 июня 2022 г.) в составе:

1. *Белов Владимир Дмитриевич* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой литейных технологий и художественной обработки материалов НИТУ «МИСиС»;
2. *Семин Александр Евгеньевич* – д.т.н., профессор, профессор кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой НИТУ «МИСиС»;
3. *Деев Владислав Борисович* – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Ультрамелкозернистые металлические материалы» НИТУ «МИСиС»;
4. *Батышев Константин Александрович* – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Технологии обработки материалов» (МТ-13) Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет);
5. *Колокольцев Валерий Михайлович* – д.т.н., профессор, Президент Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

В качестве ведущей организации утвержден Государственный научный центр Российской Федерации, Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан и внедрён в производство комплекс мер по увеличению эксплуатационного ресурса колосников обжиговых тележек из стали 40Х24Н12СЛ, позволяющий исключить дефекты литья (усадочные раковины) и повысить

стойкость колосников против межкристаллитной коррозии (далее по тексту – МКК), внедрение в производство которого позволило выполнить импортозамещение. Комплекс включает в себя:

- *на этапе выплавки* – корректировку химического состава стали для воспроизводимости результатов термообработки, увеличения жидкотекучести, уменьшения диффузионной подвижности элементов в матрице металла и уменьшения угара хрома;
 - *на этапе разливки* – оптимизацию технологии формовки и заливки колосников за счет изменения схемы формовки, расположения прибылей и оптимизацией температуры заливки, что позволило исключить возможность образования усадочных раковин и улучшить технико-экономические параметры технологии изготовления колосников;
 - *на этапе термообработки* – применение разработанной технологии термообработки (закалка и высокотемпературный отпуск) для получения кондиционной литой структуры – приведения содержания карбидообразующих элементов к равновесию в диапазоне эксплуатационных температур (балла карбидной сетки в диапазоне 1÷2 у поверхности детали и на глубине более 500 мкм от поверхности), позволяющей достичь высокой стойкости колосников против МКК.
- разработана новая методика оценки качества структуры колосников обжиговых тележек из стали 40X24H12СЛ и её модификаций, позволившая выявить качество структуры на стойкость против МКК при входном контроле.
 - установлены основные виды дефектов колосников обжиговых тележек из стали 40X24H12СЛ, возникающие при эксплуатации: МКК, коробление, трещинообразование и излом замковой части, во время эксплуатации, описаны и объяснены закономерности их развития включая причины образования.
 - применена математическая модель по методу конечных элементов (с единовременным решением прочностной и тепловой задач) для описания напряжений, деформаций и градиентов температур по сечению детали во время эксплуатации, результаты расчетов в 3D позволили определить степень влияния усадочных раковин на эксплуатационный ресурс колосников и установить их критические размеры.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработан комплекс корректировок технологии изготовления колосников из стали 40X24H12СЛ, позволяющий увеличить срок их службы в современных условиях эксплуатации как минимум до 3-х лет за счет исключения возможности образования усадочных раковин и повышения стойкости колосников против МКК, включающий в себя: корректировку химического состава стали, оптимизацию технологии плавки, заливки и формовки, а также применение разработанного комплекса термообработки стали для получения кондиционной литой структуры.
- проведена адаптация математической модели по методу конечных элементов для 3D описания состояния теплового и прочностного состояния колосников обжиговых тележек при эксплуатации, что обеспечило получение новых результатов в объяснении закономерностей дефектообразования.

- изучены причинно-следственные связи дефектообразования в колосниках при их эксплуатации: установлены причины МКК, коробления, трещинообразования и изломов замковых частей. Доказано, что высокотемпературное разрушение рабочих поверхностей колосников из стали 40Х24Н12СЛ протекает по механизму межкристаллитной коррозии. Определена степень влияния качества литой структуры колосников после термообработки (балла карбидной сетки) на склонность колосников к межкристаллитной коррозии и размеров усадочных раковин на эксплуатационный ресурс колосников.
- подтверждено, что одной из основных причин, приводящих к преждевременному выходу колосников из строя являются усадочные раковины критического диаметра ($\varnothing \geq 5$ мм). При наличии дефектов в виде усадочных раковин наблюдается неоднозначный отклик различных частей литой заготовки на деформационные воздействия, что дополнительно усугубляется не равномерными температурными условиями эксплуатации колосников.
- доказано, что в колосниках при эксплуатации образуются достаточные условия для протекания локальной МКК: высокий градиент температур с локальными перегревами до 1200 °С, не равновесное состояние карбидообразующих элементов в структуре металла.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработана и внедрена в производство новая технология изготовления колосников обжиговых тележек из модификации стали 40Х24Н12СЛ, показавшая высокую эффективность на промышленных испытаниях в сравнении с принятыми за эталон колосниками иностранного производства (поставка Outotec, ФРГ). Внедрение опытной технологии автора в производство позволило осуществить импортозамещение на части отечественных производств высокотемпературно-упрочненных обожжённых окатышей. Экспериментальная технология изготовления колосников имеет высокие перспективы дальнейшего импортозамещения на отечественном рынке и выхода на зарубежные рынки.
- обоснована методология контроля качества структуры и усадочных раковин, позволяющая определять на этапе входного контроля качество колосников и прогнозировать срок их эксплуатации в современных условиях.
- внедрена адаптированная модель по методу конечных элементов, позволяющая достоверно описать тепловые и прочностные процессы, происходящие в колосниках обжиговых тележек из стали 40Х24Н12СЛ и её модификаций при эксплуатации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные результаты получены на сертифицированном и поверенном оборудовании, калибровки и поверки приложены к диссертационной работе, доказана воспроизводимость результатов разработок вне зависимости от плавов, помимо этого, воспроизводимость результатов термообработки достигается в том числе за счет корректировки химического состава стали.
- теоретические изыскания построены на изученных, проверяемых данных и фактах, согласующихся с опубликованными теоретическими и экспериментальными

данными по теме диссертации, помимо этого, в диссертации хорошо описана высокая степень корреляции между практическими и теоретическими изысканиями.

- идея базируется на обобщении практических и теоретических наработок, цель исследования обоснована и достигнута научным методом: использован широкий литературный обзор аналогов стали 40Х24Н12СЛ, выполнен анализ изменившихся условий эксплуатации, выполнено сравнение данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике, обоснована цель и актуальность исследования.
- установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.
- использованы современные методики сбора и обработки: исходной статистической информации, проведения экспериментов и изысканий.

Личный вклад соискателя состоит в: высокой степени автономности и активном участии автора на всех этапах диссертационной работы, автор принимал непосредственное участие в получении всех описанных в работе обзоров, исследований и научных изысканий, автор лично участвовал в апробации результатов исследования, разработке методик и метрик, в обработке и интерпретация экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Соискатель представил 3 опубликованные работы в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России и Scopus, авторские права закреплены патентами № 2708728 и 2550457.

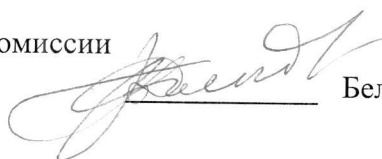
Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Иванова Дениса Игоревича является научно-квалификационной работой и соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований решена задача развития отечественной технологической базы для производства колосников обжиговых тележек, выполнено импортозамещение колосников, считавшихся эталоном, на основании обоснованных научным методом изменений технологии изготовления детали на всех этапах производства, промышленного и математического исследования условий эксплуатации и дефектообразования.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Иванову Денису Игоревичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 – «Литейное производство».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за – 4, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель Экспертной комиссии
д.т.н., профессор



Белов Владимир Дмитриевич

29.09.2022 г.