

ЦНИИ КМ «Прометей»		в ДЕЛС
Бж. № 1969/17		№
14.06.2024 г.		подп.
Осн. 11 л.		
Тема: - л.		

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу Сыч Ольги Васильевны
на тему «Научно-технологические основы формирования структуры и свойств
хладостойких сталей для Арктики», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов»

На фоне всевозрастающего внимания мирового сообщества к Арктическому региону Россия вынуждена обеспечивать свои национальные интересы в отношении Северного морского пути (СМП) в условиях жесткой конкуренции. Для этого ей необходим мощный ледокольный флот. Это предполагает обновление и создание ледоколов нового поколения, соответствующих современным стандартам безопасности. К 2035 г. арктический флот планируется увеличить до 13 тяжелых ледоколов, включая девять атомных, что позволит обеспечить круглогодичную навигацию по СМП.

В связи с этим потребовалась разработка и освоение высоконадежных хладостойких свариваемых сталей с гарантированной работоспособностью при температурах от -30 до -50 °С. Исследованиями в этом направлении в последние 20-30 лет занимались специалисты разных научных организаций. Ими были изучены взаимосвязи между легированием, кинетикой фазовых превращений, режимами горячей пластической деформации, параметрами ускоренного охлаждения, закалки, высокотемпературного отпуска, формирующейся структурой и механическими свойствами. В результате проведенных исследований было показано, что важными условиями обеспечения высокого качества разрабатываемых сталей являются повышение металлургического качества стали (в частности, повышение чистоты по примесям и неметаллическим включениям) и получение так называемой квазиизотропной структуры. В 2002 – 2008 гг. была разработана серия хладостойких судостроительных сталей уровней прочности 235 – 690 категорий D, E и F, а также технологии их производства. Высокие прочностные и вязко-пластические свойства легированных судостроительных сталей достигаются благодаря контролю размера зерна феррита и его содержания в низколегированных сталях, а также заданного соотношения структурных составляющих при ограничении доли свободного феррита. Такие стали гарантируют отсутствие хрупких разрушений по результатам испытаний на ударный изгиб (KV) при отрицательных температурах вплоть до минус 60 °С в ограниченном диапазоне толщин.

В настоящее время для строительства современной арктической морской техники требуются хладостойкие судостроительные стали еще более высокого качества, пригодные для использования при минимальных (расчетных) температурах материала (T_D) без ограничений. Эти стали с гарантированными характеристиками работоспособности при низких температурах получили индекс «Arc». Значение T_D указывается рядом с индексом «Arc» без

знака минус и определяется как наибольшее значение, полученное по результатам трех видов испытаний, а именно значениям температур вязко-хрупкого перехода $T_{кб}$, нулевой пластичности NDT и критического раскрытия вершины трещины CTOD. Для таких сталей требуется одновременное выполнение требований ко всем трем характеристикам. Научно обоснованные требования к ним в 2012 г. были внесены в «Правила...» Российского морского регистра судоходства (РМРС) и в Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52927-2015.

Принципиальное отличие хладостойких судостроительных сталей с индексом «Arc» от базовых сталей категорий D, E, F заключается в необходимости гарантировать характеристики работоспособности и самого проката и сварных соединений технологией их производства. Ранее освоенные марки стали не соответствовали всем разработанным требованиям.

Для обеспечения высокой хладостойкости и трещиностойкости потребовалась разработка новых методик оценки структурных составляющих, позволяющих разработать принципиально новые требования. К таким требованиям, в частности, относится комплексная количественная оценка изменения структуры по сечению листового проката.

Сказанным выше определяется актуальность диссертационной работы Сыч Ольги Васильевны, цель которой состояла в создании хладостойких судостроительных сталей с пределом текучести 355...750 МПа с гарантированной работоспособностью при низких температурах (с индексом «Arc»), предназначенных для эксплуатации в Арктике, и технологий их производства.

Научная новизна работы заключается в разработке научно обоснованных принципов создания хладостойких судостроительных сталей с индексом «Arc» с гарантированной работоспособностью при низких температурах и технологий их производства. Причем это относится к двум типам судостроительных сталей – к низколегированным уровням прочности 355 ... 460 с ферритно-бейнитной структурой после термомеханической обработки с ускоренным охлаждением (ТМО+УО), а также к экономнолегированным хладостойким сталям уровням прочности 500 ... 750 с бейнитной и бейнитно-мартенситной структурой после закалки с прокатного или печного нагрева с последующим высокотемпературным отпуском (ЗПН+О и З+О).

Из пунктов новизны, касающихся низколегированных сталей с индексом «Arc», наиболее интересной представляется разработка количественных требований к параметрам структуры и их допустимому изменению по сечению листового проката. В частности, разработанные требования к соотношению долей структурных составляющих заключаются в обеспечении суммарного количества квазиполигонального феррита и бейнита гранулярной морфологии - не менее 70 %, а доли «негранулярного» бейнита - не более 25 %.

При этом количество областей «негранулярного» бейнита размером более 100 мкм не должно составлять более 10 %, а допустимое изменение размеров структурных элементов по сечению листового проката – не должно превышать 5 мкм.

Большое научное значение имеет установление возможности снижения анизотропии ферритно-бейнитной структуры путем оптимизации химического состава стали, а именно ограничения суммарного содержания никеля и меди, введения хрома и ванадия, микролегирования молибденом и ниобием. Установлены механизмы влияния указанных элементов на формирование структуры и свойств.

Большой как научный, так и практический интерес представляет разработанный комплекс технологических приемов ТМО+УО, направленный на повышение однородности и дисперсности структуры по сечению листового проката толщиной до 50 мм из низколегированных сталей с индексом «Агс», включающий использование на завершающей (чистой) стадии прокатки убывающего или изотермического температурного графика в зависимости от толщины листового проката при убывающей схеме обжатов по проходам, что обеспечивает перед $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением формирование субзеренной структуры в аустените и препятствует наклепу более крупных зерен аустенита.

Для экономнолегированных сталей с индексом «Агс» после ЗПН+О комплексные требования к структуре листового проката по всему сечению заключаются в обеспечении доли речных составляющих (дислокационного речного мартенсита и речного бейнита) с субзеренным строением реек - не менее 55 % при ограничении количества бейнита гранулярной морфологии - не более 45 ... 10 %. Кроме того, необходимо обеспечить равномерное распределение карбидной фазы цементитного типа, легированной хромом и молибденом $Me_{23}C_6$ и Me_6C размером не более 250 нм преимущественно по границам субзерен и реек. При этом средний и максимальный размер структурных элементов должен составлять не более 8 и 25 мкм, соответственно, при их допустимом изменении по сечению листового проката – не более 3 мкм. Таким образом, требования к структурному состоянию таких сталей существенно отличаются от требований к структурному состоянию низколегированных сталей более низких уровней прочности.

Уточнены также требования к химическому составу экономнолегированных сталей с индексом «Агс», изготавливаемых по технологии ЗПН+О. Так, установлена целесообразность ограничения суммарного содержания никеля, меди, молибдена в пределах 2 ... 3 %, хрома в пределах 0,5 ... 0,8 %. Представлены механизмы влияния содержания указанных элементов на формирование структуры и свойств. Предложены режимы горячей деформации и ЗПН, обеспечивающие требуемые однородность и дисперсность структуры по сечению листового проката.

Установлены также требования к структурным характеристикам экономнолегированных сталей, производимых по технологии 3+0, которые отличаются от требований к рассмотренным выше сталям.

Не вызывает сомнений **практическая значимость работы**, которая заключается, в первую очередь, в разработке химических составов судостроительных хладостойких сталей арктического применения, в том числе с индексом «Агс», защищенных 6 патентами РФ, в разработке нормативно-технической документации, одобренной Российским морским регистром судоходства (РМРС), на поставку высококачественных судостроительных сталей арктического применения на крупнейшие заводы-строители судов и морской техники: АО «Балтийский завод», ПАО «Выборгский судостроительный завод», ПАО Судостроительный завод «Северная верфь» и другие предприятия, новой редакции Национального стандарта ГОСТ Р 52927-2023 в части внесения судостроительных сталей с индексом «Агс», технических условий, согласованных с предприятиями-изготовителями листового проката.

И конечно, важнейшими практическими результатами работы является разработка, освоение и внедрение в промышленных условиях ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ООО «ОМЗ-Спецсталь» технологий производства листового проката из хладостойких судостроительных сталей с пределом текучести 355 ... 750 МПа с индексом «Агс», а также листового проката больших толщин до 100 мм из низколегированных хладостойких сталей категорий D, E, F, обеспечение поставок проката из освоенных сталей по заказам ведущих судостроительных предприятий РФ объемом более 300 тысяч тонн, в том числе более 20 тысяч тонн сталей с индексом «Агс».

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена большим объемом проведенных исследований и проанализированных данных, высокой воспроизводимостью результатов, применением взаимодополняющих методик исследования структуры, проведением испытаний в аккредитованных лабораториях, полномасштабным внедрением результатов работы в производство листового проката на ведущих металлургических комбинатах.

Личный вклад автора в работу заключается в определении цели и задач исследования, теоретическом анализе и обобщении данных, создании программ проведения исследований и испытаний, анализе связей между химическим составом, структурой и свойствами судостроительных сталей, разработке количественных требований к параметрам структуры, в том числе по сечению листового проката, разработке химических составов и технологических режимов производства судостроительных сталей, а также представлении

результатов исследований как в виде научных публикаций, так и в виде докладов на научно-технических конференциях.

Работа прошла хорошую **апробацию**. Основные результаты работы были представлены в период с 2014 по 2023 гг. на 29 научно-технических конференциях, форумах и семинарах, более 20 из которых – международные. Основное содержание диссертации опубликовано в 49 печатных работах, в том числе 31 статье в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК (SPIN-код: 2857-4271, AuthorID: 728693), 19 публикаций издано на английском языке и индексируются в базе данных SCOPUS (Author ID 56520095400), получено 6 патентов РФ на составы и способы производства разработанных хладостойких сталей арктического применения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы из 294 наименований, списка сокращений и условных обозначений и 6 Приложений. Основной текст изложен на 427 страницах, содержит 165 рисунков и 70 таблиц. Приложения на 42 страницах включают 25 рисунков, 19 таблиц и 5 актов внедрения результатов диссертационной работы.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи проведенных исследований, научная новизна работы и положения, вынесенные на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, описан личный вклад соискателя, приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов.

В первой главе представлен подробный и логичный анализ литературных данных об эволюции требований к хладостойким судостроительным сталям с учетом изменений условий эксплуатации, описание металлургических принципов их создания, обзор сведений об известных композициях легирования таких сталей и технологических процессах их производства. Особое внимание уделено особенностям процессов структурообразования, взаимосвязи структуры, механических свойств и характеристик работоспособности судостроительных сталей. Показаны существовавшие до недавнего времени проблемы, связанные с отсутствием систематических знаний о формировании структуры и свойств с учетом новых требований к сталям из-за меняющихся условий их эксплуатации. Это позволило сформулировать цель и задачи работы.

Во второй главе приведены характеристики исследованных судостроительных сталей, хотя более подробно их химический состав приведен в последующих главах. Представлены основные методы и методики проведения моделирования процессов структурообразования, в том числе по различным режимам на пластометре «GLEEBLE 3800», структурных исследований, количественного анализа структуры взаимодополняющими методами, опытно-промышленных экспериментов на листопркатном и термическом оборудовании металлургических предприятий, определения механических свойств и характеристик работоспособности, предусмотренных системой требований Российского Морского Регистра судоходства и ГОСТ Р 52927. Интересные методики были

использованы для исследования динамической и статической рекристаллизации аустенита, для оценки структурной ферритно-бейнитной неоднородности по толщине проката, свариваемости, а также для решения ряда других задач. Подробно описаны методы испытаний введенных дополнительно и описанных выше характеристик работоспособности сталей с индексом «Агс», а также методики коррозионных испытаний. Предложенный комплекс исследований позволил выполнить поставленные цели и задачи диссертационной работы и обеспечить достоверность полученных результатов.

В третьей главе установлены взаимосвязи легирования, параметров структуры по сечению, механических свойств и характеристик работоспособности при низких температурах для листового проката из всех исследованных групп сталей, в том числе низколегированных сталей после ТМО + УО и экономнолегированных сталей после ЗПН + О и З + О. На базе данных исследований разработаны количественные требования к параметрам структуры и их допустимому изменению по сечению листового проката из судостроительных сталей с гарантированной работоспособностью при низких температурах; научно обоснованные концепции легирования хладостойких сталей для Арктики, в том числе с индексом «Агс».

Удачным решением для удобства анализа является объединение данных о взаимосвязи ключевых параметров структуры листового проката с характеристиками работоспособности в сводные таблицы.

Основные выводы данной главы легли в основу для формулирования представленных выше пунктов научной новизны.

Выполнение комплексных количественных требований к различным параметрам структуры по сечению листового проката из низко- и экономнолегированных сталей уровней прочности 355 ... 750 МПа с гарантированной работоспособностью потребовало разработки режимов термомеханической и термической обработки, учитывающих особенности протекания процессов структурообразования с учетом неоднородности распределения температурно-деформационных параметров по сечению крупномасштабных заготовок.

В четвертой главе на базе исследований роста зерна при нагреве, особенностей динамической и статической рекристаллизации и имитационного моделирования на пластометре «GLEEBLE 3800» определены температурно-деформационно-кинетические параметры технологических процессов (ТМО + УО, ЗПН + О, З + О), обеспечивающие формирование дисперсной структуры заданной морфологии.

Рассмотрено влияние на формирование структуры и свойств значений основных технологических параметров и режимов на разных стадиях производства проката. Исследовано влияние режимов нагрева под прокатку, температурных графиков и схем деформации по проходам на высокотемпературной (черновой) и чистой стадиях прокатки,

соотношения суммарных деформаций на черновой и чистовой стадиях, температуры окончания деформации и скорости ускоренного охлаждения.

По результатам проведенных исследований предложены температурно-деформационные схемы двухстадийной деформации по проходам и режимы ускоренного охлаждения для промышленного опробования изготовления листового проката судостроительных сталей с индексом «Arc» разработанных химических составов.

Пятая глава посвящена разработке промышленных режимов ТМО + УО, используемых для низколегированных сталей, позволяющих минимизировать влияние неравномерности распределения температурно-деформационно-кинетических параметров по сечению крупномасштабных заготовок на процессы формирования структуры на разных этапах технологии. При этом технологические воздействия должны быть направлены на формирование описанного выше оптимального структурного состояния, обеспечивающего высокую работоспособность при низких температурах. Кроме того, важной частью работы явилось проведение анализа основных технологических нарушений, возможных при изготовлении толстолистового проката в промышленных условиях, которые могут приводить к увеличению неоднородности ферритно-бейнитной структуры. Установлено, что к таким нарушениям относятся снижение температуры на поверхности листового проката до $T_{sr}-(80...100^{\circ}\text{C})$, связанное с нерациональным применением «гидросбива», а также наличие единичных обжатий менее 10 % на первых проходах высокотемпературной стадии прокатки.

В результате проведенных исследований разработаны режимы ТМО + УО, гарантирующие выполнение разработанных для сталей с индексом «Arc» требований к параметрам структуры и их допустимому изменению по сечению листового проката толщиной до 50 мм, а также обеспечивающие повышение изотропности и однородности ферритно-бейнитной структуры по всему сечению листового проката толщиной до 100 мм.

Разработанные технологии производства листового проката уровней прочности 355-390 категории F толщиной до 100 мм и уровней прочности 355-460 с индексом «Arc» толщиной до 50 мм внедрены в промышленных условиях ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ООО «ОМЗ-Спецсталь».

Шестая глава посвящена разработке промышленных температурно-деформационных схем горячей пластической деформации экономнолегированных сталей для формирования мелкозернистого аустенита с развитой субструктурой, а также режимов закалки с прокатного или печного нагрева, обеспечивающих получение бейнитной и бейнитно-мартенситной структуры по всему сечению листового проката уровней прочности 420-750, и высокотемпературного отпуска, исключаящего развитие рекристаллизации в α -фазе речных составляющих и коагуляцию карбидной фазы. При этом технологические воздействия, в

первую очередь, были направлены на получение заданного соотношения и морфологии структурных составляющих, исключение протяженных областей речного бейнита. Кроме того, требовалось обеспечить создание субзеренного строения в структурных составляющих, равномерное распределение карбидных частиц ограниченного размера по границам субзерен и рек, повышение однородности структуры по сечению проката и получение требуемого количества БУГ более 50°.

Весьма интересными представляются результаты исследований структуры по сечению листов с оценкой ее соответствия разработанным требованиям, оценки механических свойств и характеристик работоспособности листового проката из разработанных экономнолегированных хладостойких сталей после ЗПН+О и З+О. Достижение разработанных требований к структурному состоянию стали по всему сечению проката подтверждено характерными EBSD-отображениями объемных долей структурных составляющих по сечению проката.

В результате исследований разработаны технологические режимы ЗПН + О и З + О, гарантирующие выполнение требований к параметрам бейнитной и бейнитно-мартенситной структуры и их допустимому изменению по сечению листового проката из экономнолегированных сталей с индексом «Агс» уровней прочности 500-750 толщиной до 40 ... 60 мм, а также ЗПН + О, обеспечивающие повышение однородности и дисперсности структуры по всему сечению листов толщиной до 100 мм из низколегированных сталей уровней прочности 420-460 категории F. Разработанные технологии внедрены в промышленных условиях ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ООО «ОМЗ-Спецсталь».

В седьмой главе представлены результаты выпуска опытно-промышленных партий листового проката из низко- и экономнолегированных сталей, изготовленных в ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ООО «ОМЗ-Спецсталь» по разработанным технологиям, с оценкой качества листов и их сварных соединений. Подтверждены стандартные механические свойства, требуемые характеристики работоспособности при низких температурах для основного металла.

Одними из наиболее важных и интересных результатов, описанных в данной главе, являются результаты исследования качества сварных соединений, влияния послесварочной термической обработки на структуру и свойства различных участков ЗТВ сварных соединений. Были опробованы различные способы ручной и автоматической сварки, в том числе автоматической сварки под флюсом. Показана равнопрочность сварных соединений с основным металлом, а также их высокая деформационная способность; требуемая хладостойкость и трещиностойкость ЗТВ при использовании ручной и автоматической сварки с погонной энергией до 3,5 кДж/мм.

Восьмая глава посвящена внедрению разработанных судостроительных сталей арктического применения. Разработана и внедрена в промышленных условиях трех металлургических комбинатов – ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ООО «ОМЗ-Спецсталь» технологическая документация на производство листового проката из разработанных сталей.

Как отмечено выше, при описании практической значимости, были обеспечены поставки проката из освоенных сталей по заказам ведущих судостроительных предприятий РФ объемом более 300 тысяч тонн, в том числе более 20 тысяч тонн сталей с индексом «Агс». Разработанные стали использованы при проектировании и строительстве крупнейших в мире атомных ледоколов проекта 22220 «Арктика», «Сибирь», «Урал», «Якутия», «Чукотка», «Ленинград» и «Сталинград», сверхмощного ледокола «Лидер» проекта 10510 и других судов, проектировании модернизированного атомного плавучего энергоблока проекта 20861, судна атомно-технологического обслуживания проекта 22770 и других объектов сложной морской техники для Арктики.

Результаты работы подтверждены актами внедрения ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ООО «ОМЗ-Спецсталь», АО «Балтийский завод» и АО «ЦКБ «Айсберг».

В Приложениях А-Е представлены акты внедрения результатов диссертационной работы, а также материалы, не вошедшие в основной текст диссертации.

Таким образом, в результате проведенной работы создана система знаний о взаимосвязи химического состава, структурного состояния, технологических режимов производства и свойств, в том числе показателей работоспособности, современных судостроительных сталей. Это можно квалифицировать как научное достижение, имеющее большое значение для экономики страны, **решение важнейшей народнохозяйственной задачи** стратегического значения по обеспечению высоконадежными судостроительными сталями строительства мощного ледокольного флота, морских ледостойких платформ и другой конкурентоспособной специализированной морской техники. В свою очередь, это обеспечит эффективное и экологически безопасное освоение углеводородных ресурсов шельфовых месторождений, интенсивную круглогодичную эксплуатацию Северного морского пути и технологический суверенитет РФ.

Актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы Сыч О.В., достоверность полученных научных результатов не вызывают сомнений. Работа написана грамотным научно-техническим языком, аккуратно оформлена. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Содержание работы достаточно полно изложено в публикациях автора, в том числе в изданиях, соответствующих перечню ВАК.

К работе можно сделать следующие **замечания**, не снижающие общей положительной оценки работы:

1 При прочтении пункта 1 научной новизны положений об анизотропии и однородности структурных элементов возникает вопрос относительно структурных компонентов, отмеченных в двух последних абзацах. В требовании к анизотропии структуры речь идет о размерах структурных составляющих порядка 25 – 100 мкм и более. При этом оговаривается необходимость ограничения количества областей «негранулярного» бейнита размером более 100 мкм – не более 10%. В требовании к дисперсности и однородности структурных элементов, определенных при угле толерантности $\theta t = 5^\circ$, говорится об элементах структуры размером не более 20 мкм. Однако не уточняется, что относится к указанным структурным элементам. На стр.75 диссертации указано, что к таким элементам структуры относятся кристаллиты бейнитного феррита в гранулярном бейните, а также зерна полигонального и квазиполигонального феррита. Указание названий этих структурных составляющих в последнем абзаце пункта 1 новизны позволило бы лучше понять суть данного положения.

2 В тексте автореферата отсутствует определение понятия «угол толерантности», которое фигурирует как в описании научной новизны, так и в описании исследовательской части автореферата. Данный термин не относится к широко распространенным, и его краткая расшифровка (приведенная, например, в диссертации на стр. 67) была бы уместной.

3 Несмотря на то, что в диссертации приведены результаты оценки стойкости разработанных сталей против некоторых видов коррозионного и коррозионно-механического разрушения, в автореферате такие данные полностью отсутствуют. При этом следует отметить, что испытания проводили только по стандартным методикам. В то же время в последние годы в научно-технической литературе появилось описание новых методик, позволяющих более качественно ранжировать стали по их стойкости против различных видов коррозионного и коррозионно-механического разрушения в зависимости от химического состава, структурного состояния, загрязненности неметаллическими включениями разных типов. Проведение испытаний разработанных сталей по таким методикам позволило бы выявить резервы для дополнительного повышения коррозионной стойкости разработанных сталей.

4 Большая часть разработанных сталей содержит микролегирующие элементы – ниобий, ванадий, титан. В то же время в работе не были использованы методы термодинамического и термокинетического анализа для оценки возможности образования и областей существования выделений избыточных фаз с участием указанных элементов, влияющих на формирование структуры и свойств. Использование таких методов позволило бы лучше представить роль микролегирующих элементов в формировании структуры и свойств.

5 Хотя в диссертации представлены данные о полном химическом составе исследованных сталей, в автореферате такие данные отсутствуют. Это затрудняет оценку влияния химического состава на структуру и свойства сталей при прочтении только автореферата.

Заключение

Диссертационная работа Сыч Ольги Васильевны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное политическое, социально-экономическое и хозяйственное значение для страны. Работа соответствует действующим требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор диссертационной работы заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, старший научный сотрудник

Родионова Ирина Гавриловна,

заместитель директора «Научного центра физико-химических основ и технологий металлургии» Государственного научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина»

Логин
10.06.2024

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.01
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2

Телефон: 8 (495) 777-93-33, адрес эл. почты: igrodi@mail.ru

Подпись Родионовой И.Г. заверяю:
Начальник Управления кадров
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»



В.М. Логинов

А.Н. Погославский

Одновременно
14.06.2024
Логин