

НАУКА — ПРАКТИКЕ

Полувековое испытание холодом

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, 40-летие со дня образования которого отмечалось в прошлом году, был организован на базе двух отделов Якутского филиала СО АН СССР (ныне ЯНЦ СО РАН) — отдела хладостойкости машин и металлоконструкций и отдела энергетических проблем и лаборатории теплообмена Института мерзлотоведения СО АН СССР.

История отдела хладостойкости машин и металлоконструкций началась в 1959 году с создания группы хладостойкости машин и конструкций. Организатором и руководителем группы, а позднее — отдела хладостойкости машин и металлоконструкций, стал молодой инженер-механик П.Г. Яковлев (первый из народа саха выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана), приглашенный будущим академиком Н.В. Черским в работу в ЯФ СО АН СССР для организации научных исследований и решения практических вопросов повышения работоспособности техники и конструкций на Севере.

Эти проблемы были подняты началом интенсивного освоения российского Северо-Востока, природа и климат которого поставили на новый уровень требования к эксплуатационной надежности и работоспособности горнодобывающей техники и автотранспорта. Массовые отказы серийных машин, механизмов и оборудования из-за несоответствия их характеристик северной специфике приводили к значительной потере полезного эффекта, который могли бы дать природные ресурсы Севера. Поэтому группа хладостойкости вела наблюдения за работой машин, различных сооружений и конструкций при низких температурах, изучала их поломки и отказы, занималась задачами материаловедения, механики, проводила лабораторные и натурные испытания. В сущности, было основано новое научное направление — хладостойкость машин и металлоконструкций.

В 1966 г. в Новосибирском совете секции технических наук ОУС по физико-математическим и техническим наукам П.Г. Яковлев защитил первую кандидатскую диссертацию в этой области — «Исследование хрупких разрушений деталей транспортно-дорожных машин при низких температурах». В диссертации были сформулированы и решались проблемы повышения надежности машин, механизмов и элементов металлоконструкций для Севера (выявление узлов и деталей, лимитирующих работоспособность техники, причин их поломок, изучение природы хрупкого разрушения, разработка хладостойких материалов, совершенствование конструктивного оформления и технологических процессов).

Так 50 лет тому назад в Якутии зародилось направление исследований, связанное с решением фундаментальных и прикладных задач северного материаловедения, конструкционных и технологических проблем снижения риска разрушения техники и промышленных объектов в районах Крайнего Севера.

Опыт развивавшегося в те годы Сибирского отделения Академии наук СССР показал эффективность организации региональных научных центров для проведения рациональной научно-технической политики в регионах с учетом их специфических особенностей. Поэтому в дальнейшем для расширения научного сопровождения программы развития промышленности республики и создания техники и конструкций, пригодных к эксплуатации в экстремальных климатических условиях, по инициативе академика М.А. Лаврентьева, Н.В. Черского, Б.Е. Патона был организован Институт физико-технических проблем Севера. С момента организации института СО РАН постоянно оказывает ему всестороннюю поддержку в лице ведущих ученых, таких как академики В.М. Фомин, В.М. Титов, члены-корреспонденты Б.Д. Аннин, Н.И. Воропай, С.В. Алексеенко, доктора наук А.П. Бурдуков, А.С. Анышаков.

В отделе хладостойкости начинали свою научную деятельность многие выдающиеся ученые и организаторы науки Якутии. В 1962 г. в отдел пришел ещё один выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана — В.П. Ларионов, впоследствии возглавивший ИФТПС, ЯНЦ и ставший действительным членом РАН. С 1965 г. в отделе начал работать Р.С. Григорьев, который в дальнейшем был его руководителем и одним из основателей ИФТПС. В 1973 г. к работе в отделе приступил будущий чл.-корр. РАН М.Д. Новопашина. Отдел и отделение постоянно готовили для института не только высококвалифицированные научные и инженерные, но и руководящие кадры. Специалисты в области прочности металлоконструк-

ций Ю.И. Егоров был назван одним из лучших учёных секретарей институтов СО РАН. Преемником академика Ларионова на посту директора стал его ученик О.И. Слепцов. В настоящее время директор института — М.П. Лебедев, также начинавший в 1981 г. свой путь в науке с работы в отделении хладостойкости.

Как уже отмечалось, можно выделить три основных направления работы отделения хладостойкости и материаловедения: разработка хладостойких материалов; совершенствование расчётных методов, использующихся при проектировании; оптимизация технологических процессов изготовления. На протяжении всей своей деятельности отделение неизменно сочетало решение этих задач с глубоким и всесторонним исследованием фундаментальных связей и закономерностей, определяющих работоспособность материалов и конструкций.

На основе комплексных исследований влияния легирующих добавок на структуру и физико-механические характеристики железоуглеродистых сплавов в институте были разработаны хладостойкие и износостойкие сплавы, прошедшие успешные испытания на горнодобывающих предприятиях республики и удостоенные российских и международных наград.

Премии Правительства РФ за разработку сталей нового поколения для конструкций ответственного назначения получили В.П. Ларионов (2004 г.) и О.И. Слепцов (2008 г.).

Создание новых хладостойких материалов позволяет улучшать эксплуатационные параметры технической продукции, но при этом требует изменения норм её проектирования и серийного производства — использование высокопрочного хладостойкого материала может не дать положительного эффекта при неудачном выборе конструктивного оформления изделия и технологий его изготовления. Рациональное конструктивное решение, определяющее работоспособность материалов и элементов техники и конструкций при низких температурах, требует совершенствования методов расчёта на прочность, разработки критериев прочности и несущей способности. Новые расчётные методы должны учитывать и допускать работу элементов с трещинами, которые неизбежно имеются в них изначально, либо возникают в процессе эксплуатации, причем критические размеры дефектов существенно зависят от ее конкретных условий.

Значительным вкладом в развитие расчётных методов оценки показателя хладостойкости элементов конструкций явились труды В.Р. Кузьмина, основанные на вероятностно-статистическом анализе процесса разрушения с учётом стадий накопления повреждений в зонах концентрации напряжений и распространения магистральных трещин при различных температурах.

В плане развития новых подходов к расчёту элементов конструкций в ИФТПС под руководством М.Д. Новопашина был предложен и экспериментально обоснован градиентный критерий предельного состояния элементов конструкций, учитывающий неоднородность распределения напряжений и деформаций. Разработанные методики и уникальные технические устройства для экспериментального определения деформаций и напряжений методами муара и голографической интерферометрии позволили исследовать напряжения локального течения материала. Полученные результаты были использованы при доработке ответственных элементов горнотранспортной техники.

Следует отметить особенно актуальную для существующих экономических условий проблему диагностики состояния и прогнозирования остаточного ресурса техники и различных сооружений, парк которых весьма устарел, а возможности его обновления ограничены. В связи с этим всё более актуальными становятся научные разработки по совершенствованию методов оценки состояния инженерных сооружений для определения их остаточного ресурса. Также для получения достоверной информации о состоянии элементов техники и конструкций требуются современные средства технической

диагностики. Разработке и внедрению в практику методов и средств технической диагностики посвящены работы А.В. Лыглаева, А.П. Аммосова. В основе этих разработок лежат теоретические и экспериментальные исследования процессов формирования повреждаемости и развития разрушения металлов и сварных соединений при различных температурно-силовых воздействиях.

Фундаментальные результаты, полученные в области физического материаловедения, металлургии, сварочных процессов, послужили основой для широкого класса технологических решений по повышению ресурса северных машин и конструкций.

Так, сварка, являясь основным методом изготовления неразъёмных соединений деталей и элементов конструкций, занимала и занимает особое место в исследованиях отделения хладостойкости. Во-первых, из результатов анализа разрушений сварных изделий при низких температурах следует, что наибольшая их часть приходится на сварные соединения или начинается в них. Во-вторых, изготовление хладостойких сварных соединений из сталей повышенной или высокой прочности затруднено вследствие ряда факторов, возникающих при ведении сварки. Например, из-за высокой чувствительности хладостойких сталей к термическому воздействию возможно значительное ухудшение механических свойств металла в зоне сварного шва. Поэтому одной из важнейших проблем, решение которой определяет успех создания надежных и долговечных машин и конструкций, является разработка рациональных технологий сварки.

Еще в ранних работах В.П. Ларионова было установлено, что при сварке на холоде существует эффект возрастания температуры сварочной дуги за счет сжатия её столба. Следовательно, меняется вся тепловой баланс сварочной ванны, вся кинетика термического и термомеханического циклов, фазовых и структурных превращений. Очевидно, что оптимизация технологической сварки при низких температурах воздуха требует учёта всех этих факторов, а также создания соответствующих сварочных материалов.

В итоге исследования фундаментальных основ сварочных процессов и природы технологических трещин были предложены принципы управления прочностью сварных соединений оптимизацией тепловложения. Эти результаты нашли свою практическую реализацию в виде технологической технологии изготовления и ремонта сварных сооружений для Севера, включающих также режимы дополнительных технологических приемов (предварительный или сопутствующий подогрев) и послесварочную обработку (термическую, импульсную, аргонодуговое оплавление) для повышения эксплуатационной прочности сварных соединений. Работы этого направления были удостоены премий Совета Министров СССР (В.П. Ларионов) и Ленинского комсомола в области науки и техники (О.И. Слепцов).

Важнейшим направлением повышения надежности техники и механизмов является улучшение качества и формирование специальных поверхностных свойств для увеличения прочности и износостойкости деталей и узлов, испытывающих контактные нагрузки. Например, применение в металлообработке алмазных инструментов значительно повышает класс чистоты поверхностей элементов изделий и, соответственно, их эксплуатационные свойства. Поэтому в институте разрабатываются алмазосодержащие материалы инструментального назначения. Например, использование специфики взрывного прессования позволило получить алмазометаллические композиты со стандартным уровнем свойств, но при вдвое меньшем расходе алмазного сырья.

Одними из наиболее перспективных методов нанесения износостойких покрытий и восстановления изношенных поверхностей являются методы плазменного и газотермического напыления порошковых материалов. В ИФТПС работы по порошковой металлургии были начаты в середине 80-х годов прошлого столетия в рамках всесоюзной программы «Порошковая металлургия». Проведённые теоретико-экспериментальные исследования основ материаловедения плаз-



менного и газотермического напыления позволили разработать серию специальных порошковых материалов (получены патенты РФ) и технологических решений по напылению износостойких поверхностей для упрочнения и восстановления деталей горнодобывающей техники и автотранспорта. Руководитель работ Н.П. Болотина была удостоена высоких республиканских и российских наград.

В настоящее время исследования в этом направлении возглавляет директор института М.П. Лебедев — один из тех, кто начинал и продолжал эти работы.

Особенность использованных научно-методических подходов состояла в углубленном комплексном исследовании физико-химии и структуры покрытий, позволившем направленно разрабатывать составы и структуру покрытий для повышения их эксплуатационных свойств. Когда в середине 80-х годов в ИФТПС приехал чл.-корр. АН СССР М.Ф. Жуков, крупнейший специалист в области плазменных технологий, он не только высоко оценил результаты исследования покрытий, но по возвращении в Новосибирск рекомендовал своим сотрудникам усилить материаловедческую часть разработок. Следует отметить, что методика исследования износостойких покрытий, предложенная первыми разработчиками данного направления в ИФТПС, оказалась настолько успешной, что применяется до сих пор и по-прежнему позволяет получать новые фундаментальные и прикладные результаты.

Работы по внедрению включали предоставление заказчику технологических карт напыления покрытий на изношенные детали техники, поставку плазменного оборудования и пуско-наладочные работы с обучением обслуживающего персонала.

В проведении НИР и при внедрении результатов исследований активное участие принимали молодые учёные ИФТПС — аспиранты и младшие научные сотрудники лаборатории порошковой металлургии М.П. Лебедев, С.Е. Милохин, И.Е. Киренский, Г.Г. Винокуров и др. Непосредственная работа на промышленном предприятии не только повышала инженерную подготовку молодых кадров, но и позволяла самостоятельно подходить к решению научно-практических задач. Так, М.П. Лебедевым было показано, что использование деталей с защитными покрытиями в динамических узлах техники и элементах конструкций, эксплуатируемых при низких температурах, приводит к неуклонному росту внутренних напряжений второго рода в поверхностных слоях. Также им был впервые разработан сопряженный процесс термической обработки — оплавления при формировании покрытия — и установлены его технологические параметры.

В настоящее время разработка научных основ технологий порошковых материалов по-прежнему входит в состав перспективных исследований ИФТПС (модифицирование покрытий добавками из местного минерального сырья, получение твердосплавных и алмазосодержащих материалов, моделирование формирования макроструктуры порошковых материалов и покрытий методом вычислительного эксперимента, комплекс исследований в области формирования их трибологической прочности).

Продолжается работа созданной академиком В.П. Ларионовым школы северного материаловедения. В частности, проводятся исследования нанокристаллических состояний материалов, разрабатываются технологии объемного наноструктурирования сталей. Кроме того, для повышения безопасности и ресурса различных технических объектов развиваются системные подходы, объединяющие методы механики деформируемого твердого тела, металлофизики и материаловедения. Основу этих исследований составляют результаты отдела хладостойкости машин и металлоконструкций, а высокая квалификация его научных кадров определяет дальнейшее успешное развитие института в новом веке.

Т.А. Капитонова, С.П. Яковлева, Г.Г. Винокуров, ИФТПС СО РАН
При подготовке материала использованы воспоминания академика В.П. Ларионова.