

Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации  
Государственный научный центр  
Российской Федерации



**Центральный  
научно-исследовательский  
институт черной металлургии  
им. И.П.Бардина**

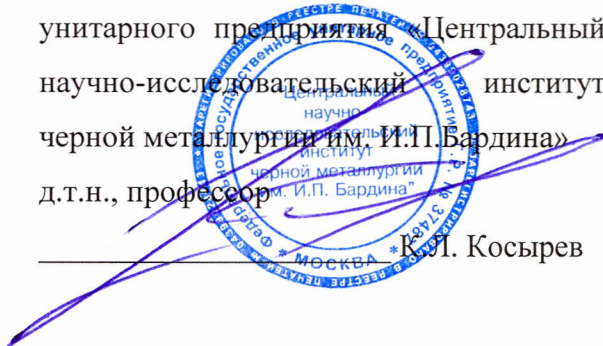
Федеральное государственное унитарное предприятие  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 9/23  
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00  
ИНН/КПП 7701027596/770101001  
E-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

24 апреля 2014 г. № 48/801  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор  
Федерального государственного  
унитарного предприятия «Центральный  
научно-исследовательский институт  
черной металлургии им. И.П.Бардина»  
д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_ К.И. Косырев



### О Т З Ы В

ведущей организации - Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина» на диссертационную работу Николаева С.В. «Совместное легирование никеля рением и переходными металлами V – VI групп», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01 – «Неорганическая химия».

Диссертационная работа С.В.Николаева посвящена исследованию фазовых равновесий в девяти четырехкомпонентных и одной пятикомпонентной системе Ni+Re+переходные элементы V и VI групп. Сплавы изученных систем служат основой жаропрочных материалов, которые принадлежат к категории так называемых никелевых суперсплавов, упрочняемых выделениями интерметаллидов. Особое внимание уделено области существования твердых растворов на основе никеля, поскольку механизм дисперсионного твердения является ключевым для достижения необходимого комплекса механических и других служебных свойств никелевых суперсплавов. Систематическая информация такого рода необходима для выбора систем легирования и оптимальных составов при разработке новых жаропрочных материалов с требуемым комплексом свойств, поэтому актуальность работы не вызывает сомнений. Применение для решения поставленных задач современных физических методов (рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа), является свидетельством надежности и достоверности полученных результатов.

Следует подчеркнуть, что автор диссертации не ограничился изучением фазовых равновесий и провел исследования: влияния природы выделяющихся избыточных фаз на

твёрдость ряда тройных сплавов, входящих в состав изученных систем; твёрдости дисперсионно упрочнённых четверных и пятикомпонентных сплавов; устойчивости многокомпонентных сплавов изученных систем к высокотемпературному окислению на воздухе. Эти обстоятельства несомненно повышают ценность диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, 3-х глав, выводов и приложения. Первая глава (литературный обзор) включает характеристику составов никелевых суперсплавов, информацию о существующих диаграммах фазовых равновесий с участием никеля, рения и переходных металлов V – VI группы, о методе формализации диаграмм фазовых равновесий в многокомпонентных системах (методе графов), о способах описания поверхности твёрдых растворов и о высокотемпературном окислении сплавов на основе никеля. Во второй главе описываются способы приготовления образцов сплавов изученных систем и методы их экспериментального исследования. В третьей главе приведены результаты исследования и их обсуждение. Приложение содержит данные о сплавах, на основании которых производилось описание границ существования никелевого твёрдого раствора в пятикомпонентной системе Ni-Re-Nb-Cr-Mo при 1375 и 1200 К.

Можно выделить следующие результаты диссертации, представляющие несомненную научную и практическую значимость.

1. Установлены фазовые равновесия в четырёхкомпонентных системах Ni-Re-V-Nb; Ni-Re-V-Ta; Ni-Re-Nb-Ta; Ni-Re-Cr-Nb; Ni-Re-Mo-Nb; Ni-Re-W-Nb; Ni-Re-Cr-Ta; Ni-Re-Mo-Ta; Ni-Re-W-Ta при 1375 К. Для построения фазовых диаграмм использован недавно разработанный метод графов, который позволяет описывать характер фазовых равновесий в многокомпонентных системах без учета областей гомогенности и точного химического состава сосуществующих фаз. Без применения такого подхода объёма выполненных исследований было бы просто недостаточно для их построения.
2. На основе метода графов осуществлена полиэдрация диаграммы фазовых равновесий пятикомпонентной системы Ni-Re-Nb-Cr-Mo при 1375 и 1200 К. При этом определены все фазы, находящиеся в равновесии с твёрдым раствором на основе никеля, которые являются конкурентами выделений упрочняющей фазы при дисперсионном твердении сплавов.
3. Произведено экспериментальное определение максимальной растворимости легирующих компонентов в твёрдом растворе на основе никеля при 1375 и 1200 К, полученные экспериментальные данные аппроксимированы в аналитическом виде



для каждой фазовой границы.

4. На основе исследования дисперсионного твердения в системах Ni-Cr-Mo, Ni-Cr-Re, Ni-Re-Nb, Ni-Nb-Cr, Ni-Re-Mo, Ni-Re-Nb-Cr, Ni-Re-Nb-Mo, Ni-Nb-Cr-Mo и Ni-Re-Nb-Cr-Mo установлено, что к наибольшему росту твердости приводит выделение  $\delta$ - и  $\alpha$ -фаз в сплавах Ni-Nb-Mo.
5. В результате изучения высокотемпературного окисления на воздухе состаренных пятикомпонентных сплавов определены химический и фазовый состав, обеспечивающие наилучшую устойчивость к окислению.

Конечно, рецензируемая диссертационная работа не лишена недостатков. Отметим наиболее важные.

1. В работе не указывается, на основе каких данных построена фазовая диаграмма пятикомпонентной системы при 1200 К. Фазовые равновесия в четырехкомпонентных системах, на которых базируется полиэдрация пятикомпонентной системы, исследовались только при 1375 К.
2. Разделы работы, посвящённые исследованиям твердости, плохо связаны с данными о фазовых равновесиях. Последние получены для четырех- и пятикомпонентных систем, тогда как влияние фазового состава на твердость изучалось на тройных системах. Этот недостаток свойственен и исследованиям коррозионной стойкости, которые проводились не только на тройных, но и бинарных сплавах и даже чистом никеле.
3. Заключение о характере влияния химического состава на твердость состаренных сплавов недостаточно обосновано, так как упрочнение зависит не только от природы фазы, выделяющейся при термообработке, но и от размеров и распределения ее частиц и т.п. А эти вопросы в диссертации не изучались.
4. Не построены диаграммы состав-структура-твердость для четырёхкомпонентных систем.

Отмеченные недостатки не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы С.В.Николаева, которая является законченным научным исследованием и содержит решение важной научной задачи по установлению фазовых равновесий в девяти четырехкомпонентных системах и равновесий с участием  $\gamma$ -фазы в пятикомпонентной системе Ni-Re-Nb-Cr-Mo. Результаты выполненных С.В.Николаевым исследований имеют принципиальное значение для разработки составов новых никелевых жаропрочных и жаростойких сплавов. Они могут найти практическое применения в исследованиях, проводимых в Институте металлургии и материаловедения им.

А.А. Байкова РАН, Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов, Новосибирском институте неорганической химии СО РАН, Институте физики твердого тела РАН и других организациях. Построенные фазовые диаграммы заслуживают включение в справочную литературу по металлическим системам. Полученные результаты имеют существенное значение для неорганической химии и материаловедения, в частности для направленного синтеза сплавов заданного фазового состава.

Учитывая вышесказанное, следует считать, что диссертационная работа «Совместное легирование никеля рением и переходными металлами V – VI групп» находится в полном соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, а её автор Семён Владимирович Николаев заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01-неорганическая химия.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа С.В.Николаева была доложена автором и обсуждена на заседании научно-технического совета Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» 9 апреля 2014 года (Протокол №8).

Отзыв составил

Советник генерального директора

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»

д.х.н., профессор



Б.М. Могутнов