



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
(национальный исследовательский  
университет)»  
(МАИ)**

Волоколамское шоссе, д.4,  
Москва, А-80, ГСП-3, 125993  
Факс: 8-(499)-158-29-77  
Тел. 8-(499)-158-43-33  
e-mail: mai@mai.ru  
ОКПО 02066606 ОГРН 1037739180820  
ИНН 7712038455 КПП 774301001

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по научной работе



А.М. Раздолин

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**Отзыв**

Ведущей организации на диссертацию Лукина Е.И. «Исследование и разработка никелевых и хромоникелевых сталей со структурой азотистого мартенсита для высоконагруженных изделий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

**Актуальность работы.**

Интерес к разработке коррозионностойких сталей с повышенными прочностными характеристиками вызван реальными потребностями различных областей современной техники и в первую очередь транспортного машиностроения и топливно-энергетического комплекса. В этом плане значительный и мало используемый до настоящего времени резерв представляют коррозионностойкие стали со структурой азотистого мартенсита, способные выдерживать высокие статические, циклические и динамических нагрузки в коррозионно-активных средах. Однако для обеспечения высокого уровня служебных свойств в этих сталях необходимо проведение комплексных работ, включающих поиск и оптимизацию составов сталей и разработку контролируемых режимов термомеханической обработки этих сталей, что возможно осуществить только при наличии четких научно-обоснованных представлений о формировании структурно-фазового состояния в этих сплавах. С этих позиций актуальной является диссертационная работа Лукина Е.И., посвященная разработке новых марок сталей со структурой азотистого мартенсита, поиску оптимальных режимов деформации и термической обработки для обеспечения высокого уровня механических свойств.

**Научная новизна работы**

Наиболее важным достижением диссертации является разработка трех новых сплавов, превосходящих по своим служебным свойствам существующие аналоги. При

этом для каждого сплава проведены комплексные исследования влияния условий получения полуфабрикатов на формирование структурно-фазового состояния и комплекс механических свойств, которые позволили выявить оптимальные технологические режимы ОМД и термической обработки. Диссертанту удалось решить сложную задачу оптимизации технологических режимов только благодаря использованию эффективных методов исследования, адекватным поставленным задачам и специфике объектов исследования. Прежде всего, следует отметить рентгеновские методы количественного фазового анализа и измерения параметров решетки мартенсита и аустенита. Совокупность этих методов позволила с высокой степенью достоверности выявить механизмы процессов, ответственных за формирование структурного состояния стали и интерпретировать влияние структурных характеристик на механические свойства.

Составы трех разработанных сплавов предложены на основе количественных критериев формирования структуры с азотистым мартенситом, не содержащей  $\delta$ -феррита,  $\sigma$ -фазы и зернограницных карбидов типа  $Me_{23}C_6$ . С помощью дилатометрических исследований изучены фазовые превращения в процессе нагрева и охлаждения азотосодержащих сталей 20X15АНЗМД2, 0X15АН4ФД и 04Н9Х2А и определены температуры фазовых превращений, которые позволили оптимизировать поиск температурных параметров обработки давлением и термической обработки.

Установлены оптимальные условия горячей прокатки, обработки холодом и отпуска у стали 20X15АНЗМД2, обеспечивающие оптимальное сочетание прочности и пластичности за счет формирования структуры, состоящей из ~70% пакетного мартенсита и ~30% аустенита и дисперсных карбонитридных частиц.

Выявлены закономерности формирования структуры и свойств новой экономнолегированной стали 0X15АН4ФД в зависимости от режимов термической обработки, выявлены оптимальные условия термической обработки, обеспечивающие высокий уровень механических и технологических свойств.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы определяется тем, что на основании анализа количественных критериев формирования структуры с азотистым мартенситом, комплексных исследований влияния режимов пластической деформации и термической обработки разработаны новые высокопрочные стали 20X15АНЗМД2, 0X15АН4ФД, 04Н9Х2А и оптимизированы технологические режимы их обработки. Составы сталей запатентованы и на предприятиях «Электросталь» и в ГНЦ РФ ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» изготовлены опытные партии полуфабрикатов.

По комплексу механических и коррозионных свойств разработанные стали существенно превосходят соответствующие аналоги. Так по уровню прочности новая сталь 20X15АНЗМД2 значительно превосходит наиболее широко применяемую для нагруженных изделий сталь 1X15АН5МЗ. По пределу усталости ( $\sigma_{-1} = 440$  МПа на базе  $10^7$  циклов) сталь 20X15АНЗМД2 превосходит сталь 1X15Н5АМЗ ( $\sigma_{-1}=400$  МПа). По пределу усталости ( $\sigma_{-1} = 630$  МПа на базе  $10^7$  циклов) сталь 0X15АН4ФД превосходит в 2,5 раза сталь 12X18Н9Т ( $\sigma_{-1}=205$  МПа).

**Достоверность результатов работы** подтверждается тем, что все основные научные выводы и рекомендации получены с помощью комплексного исследования структуры, фазового состава и механических свойств сталей с использованием современных высокоэффективных приборов и методических подходов. Фазовый состав и параметры решетки сталей определяли с помощью рентгеноструктурного анализа. Микроструктуру сплавов изучали с помощью оптической, просвечивающей и растровой микроскопии. Фазовые превращения при нагреве и охлаждении исследовали на dilatометре. Механические испытания на растяжение, ударную вязкость, многоцикловую усталость, измерения твердости и микротвердости, коррозионные испытания проводили на современном оборудовании, обеспечивающем возможность количественного представления результатов. Полученные различными методами результаты согласуются друг с другом.

В качестве замечаний отметим:

1. Диссертант связывает увеличение параметров решетки мартенсита и аустенита при повышении температуры прокатки стали 20X15АНЗМД2 с растворением карбонитридных частиц и увеличением содержания элементов внедрения (углерода и азота), однако последнее справедливо только для аустенита, поскольку для мартенсита этот эффект связан с увеличением содержания в  $\alpha$ -твердом растворе хрома.
2. Неточным представляется объяснение разупрочнения стали 0X15Н4АФД в результате нагрева при температурах 500-800°C процессами выделения и коагуляции частиц карбонитридов, поскольку более вероятно, что выделение карбонитридов отсутствует, а скорее происходит даже их частичное растворение, однако при указанных температурах процесс распада мартенсита с выделением аустенита доминирует и увеличение его количества «обгоняет» процесс растворения карбонитридов и в результате концентрация азота в аустените и соответственно его параметр решетки снижаются.

3. Не совсем удачным представляется использование в качестве объектов исследования трех сталей разного класса и имеющих разные области применения, поскольку без сопоставления структуры и свойств нескольких сталей одного класса трудно обосновать оптимальность состава предлагаемого сплава.

Сделанные замечания носят в основном дискуссионный характер и не снижают научную и практическую ценность рассматриваемой диссертации, которая является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных на высоком методическом и экспериментальном уровне исследований формирования структурно-фазового состояния в сталях с азотистым мартенситом разработаны три новые стали и технологические режимы их обработки, обеспечившими высокий уровень механических и коррозионных свойств, внедрение которых вносит заметный вклад в развитие экономики страны.

Рецензируемая работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а ее автор Лукин Е.И. безусловно заслуживает присуждения искомой степени.

Диссертационная работа была заслушана и получила положительную оценку на заседании кафедры Материаловедение и технология обработки материалов МАИ 19.05.2014 г., Протокол №10(16).

Заведующий кафедрой МиТОМ,  
Академик РАН, профессор, д.т.н,  
Заслуженный деятель науки РФ



Ильин А.А.