

В. Цуканов



ЦНИИ КМ «Прометей»

Современные
СТАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ
В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ



Профессионал
Санкт-Петербург, 2014

В.В. Цуканов

**СОВРЕМЕННЫЕ СТАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ
В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ**

Монография

Санкт-Петербург

2014

ББК 34,5
Ц85

Научный редактор: заслуженный деятель науки Российской Федерации,
д.т.н., профессор В.А. Малышевский

Цуканов В.В. Современные стали и технологии в энергостроении. – СПб.: АНО ЛА «Профессионал», 2014. – 464 с., ил.

ISBN 978-5-91259-102-0

ББК 34,5

В монографии представлены научно-методические разработки по обоснованию усовершенствованных марок стали для роторов паровых турбин и корпусов атомных реакторов различных типов.

В работе приведены многочисленные результаты исследований по характеру фазовых и структурных превращений в стали, которые позволили обосновать усовершенствованные режимы предварительной и окончательной термической обработки.

По итогам исследований были разработаны ряд усовершенствованных марок стали, технологические процессы их производства и ряд других прогрессивных технических решений.

Современные методы металлургического производства и термической обработки заготовок из сталей усовершенствованных составов позволили получить комплекс высоких механических и служебных характеристик, обеспечивающих требуемый ресурс, надежность и безопасность работы изделий.

Значимость результатов работ, представленных в монографии, и их новизна подтверждены 22 авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ, многие разработки были отмечены Почетными дипломами и медалями на Российских и Международных выставках.

Все права защищены

ISBN 978-5-91259-102-0

© Цуканов В.В., 2014

В монографии В.В. Цуканова на основе современных знаний рассмотрены актуальные вопросы совершенствования сталей и технологии их производства для основных элементов паровых турбин — роторов, корпусов атомных реакторов ледокольного типа, современных и перспективных стационарных атомных энергетических установок. На основании комплексного подхода к выбору марок стали для ответственных с высоким плановым ресурсом базовых элементов рассмотренных конструкций автором предложены высокотехнологичные марки стали с повышенным уровнем прочности.


В ходе исследований получены новые научные данные в области фазовых и структурных превращений и оценки влияния легирования на их температурно-кинетические параметры. Полученные данные легли в основу совершенствования предложенных марок стали и были использованы при разработке базовых технологических процессов производства стальных полуфабрикатов.

Оценка влияния деградирующих факторов на основные характеристики предложенных сталей обеспечила возможность обосновать применимость разработанных сталей в условиях заданных высоких эксплуатационных параметров и срок их эксплуатации, в частности корпусов реакторов ВВЭР большой мощности, на срок 60 лет и более.

Необходимо отметить, что в результате комплексного исследования служебных свойств новых и усовершенствованных марок стали для роторов и корпусов атомных реакторов, произведенных по предложенным современным техническим решениям, обеспечена высокая работоспособность разработанных материалов и технологий и применимость их для энергоустановок с повышенным ресурсом и надежностью.

Монография охватывает широкий спектр вопросов разработки современных сталей, технологии их производства и оценки качества и рекомендована студентам, научно-техническим специалистам и ученым, занятым в сфере металловедения, материаловедения для общего и энергетического машиностроения.

**Президент – научный руководитель
ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»,
академик РАН**



5.05.14.
И.В. Горин

ОТ АВТОРА

Основой настоящей монографии стали результаты исследований и разработок материалов и технологий их производства при изготовлении основных элементов турбоагрегатов (роторов) и корпусов атомных энергетических реакторов для современных и перспективных АЭУ, проводившихся на протяжении многих лет в ЦНИИ КМ «Прометей» (серия хоздоговорных работ и по государственной научно-технической программе «Экологически чистая энергетика» по первому приоритетному направлению «Безопасная атомная энергетика» в рамках научной школы академика РАН Игоря Васильевича Горынина).

Поэтому, прежде всего, хочу поблагодарить коллектив сотрудников ФГУП «ЦНИИ КМ “Прометей”», руководство института в лице академика И.В. Горынина и д.т.н. А.С. Орыщенко за участие и помощь в работе.

В получении результатов и их оценке, представленных в монографии, принимали весомое участие сотрудники ЦНИИ КМ «Прометей», а также других организаций.

Оценка вклада участников этой большой комплексной работы является сложной задачей, и автор приносит свою благодарность и высказывает признательность за поддержку и помощь всем лицам, участвовавшим в формировании и получении результатов исследований, и в первую очередь:

– Малышевскому Виктору Андреевичу, д.т.н., профессору, заслуженному деятелю науки РФ, за рецензирование рукописи и ценные замечания;

– Карзову Георгию Павловичу, д.т.н., профессору, заслуженному деятелю науки РФ;

– Филимонову Герману Николаевичу, д.т.н., заслуженному машиностроителю РФ;

– Богданову Владимиру Ивановичу, к.т.н.;

– Бережко Борису Ивановичу, к.т.н., заслуженному металлургу РФ;

– Романову Олегу Николаевичу, к.т.н.;

– Сергееву Юрию Вальтеровичу;

– Марголину Борису Захаровичу, д.т.н., профессору;

– Гуленко Александру Георгиевичу, к.т.н.;

– Титовой Татьяне Ивановне, д.т.н.;

– Шульган Наталье Алексеевне, к.т.н.,

а также всем, кто помогал в подготовке и оформлении рукописи, и в первую очередь Ольгу Владимировну Коршунову.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- А — аустенит
АИС — автоматические измерительные системы
АСМ — атомно-силовой микроскоп
АР — атомный реактор
АЭУ — атомная энергетическая установка
Б — бейнит
ВВЭР — водо-водяной энергетический реактор
ВДП — вакуумно-дуговая печь
ДСП — дуговая сталеплавильная печь
ДТА — дифференциальный термический анализ
ЗТВ — зона термического влияния
К — карбид
КД — конструкторская документация
КИ — Курчатовский институт
КП — категория прочности
КР — корпус реактора
КРО — коэффициент радиационного охрупчивания
М — мартенсит
МЦУ — малоцикловая усталость
МИСиС — Московский государственный институт стали и сплавов
 M_k — температура конца мартенситного превращения
 M_n — температура начала мартенситного превращения
МиТОМ — журнал «Металловедение и термическая обработка металлов»
Н — нормализация
НИИИнформТЯЖМАШ — научно-исследовательский институт информации по тяжелому и транспортному машиностроению
НДС — напряженно-деформированное состояние
ОХ — отпускная хрупкость
ОШЗ — околшовная зона
ОМП — основная мартеновская печь
П — перлит
ПТО — предварительная термическая обработка
ПФО — противфлокенная обработка
РО — радиационное охрупчивание
СН — структурная наследственность
СР — сварной ротор

САОЗ — система аварийного охлаждения активной зоны
САОР — система аварийного охлаждения реактора
ТД — технологическая документация
ТП — термопара
ТХ — тепловая хрупкость
УВРВ — установка внепечного рафинирования и вакуумирования
Ф — феррит
ЧТД — чертежно-техническая документация
ЭШП — электрошлаковый переплав
ЭДП — электродуговая печь
ФММ — журнал «Физика металлов и металловедение»

ppm (пропромилле) — концентрация в миллионных долях
 δ_5 — относительное удлинение, %
 $\sigma_{0.2}$ — условный предел текучести, МПа
 σ_b — временное сопротивление разрыву, МПа
 ψ — относительное поперечное сужение
 C_3 — углеродный эквивалент
НВ — твердость по Бринеллю
НV — твердость по Виккерсу
HRC — твердость по Роквеллу, шкала С
 H_μ — микротвердость
 K_{Ic} — критерий старта трещины
 K_{Ia} — критерий остановки трещины
 K_F, A_F — коэффициент радиационного охрупчивания
КСU — ударная вязкость (образец с U-образным надрезом)
КСV — ударная вязкость (образец с острым надрезом)
KV — работа удара, определяемая на образцах с V-образным надрезом, Дж
 P — параметр Холломона
 P_o — параметр охрупчивания
 S_{oy} — условное сопротивление отрыву
 T_k — критическая температура
 T_{50} — критическая температура хрупкости по критерию 50% волокна в изломе
 $T_{к0}, T_{кТ}, T_{кДС}$ — критическая температура хрупкости
 $\Delta\Delta T_F$ — изменение критической температуры хрупкости при радиационном воздействии