

П.А. Дорошенко

**Технология производства
судовых энергетических
установок**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
П11

П11 **П.А. Дорошенко**
Технология производства судовых энергетических установок / П.А. Дорошенко – М.: Книга по Требованию, 2021. – 433 с.

ISBN 978-5-458-27110-3

ISBN 978-5-458-27110-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

и последующих ледоколов существенно повлияла на развитие технологии монтажа и испытаний судовых ядерных установок. В этот период были разработаны и внедрены агрегатные методы монтажа, монтаж механизмов на быстротвердеющей малоусадочной пластмассе, тарированная насадка гребных винтов, пневматическое испытание трубопроводов и другие прогрессивные технологические методы.

Большое значение для развития технологии судового машиностроения имело внедрение электросварки, применение которой можно считать русской технологией (Н. Г. Славянов, 1905–1954 гг.; В. П. Вологдин, 1883–1950 гг., Е. О. Патон, 1870–1953 гг. и др.). 1 июля 1921 г. на Дальзаводе (г. Владивосток) был создан специализированный сварочный цех, а в 1922 г. были построены два полностью сварных судовых котла. Однако, несмотря на очевидные преимущества сварки, широкое внедрение ее было ограничено из-за отсутствия надежного метода контроля качества сварных швов и выявления скрытых дефектов. Только в 1932 г. после создания и изготовления первой промышленной рентгеновской установки сварка получила широкое признание.

В судовом котлостроении сварка полностью вытеснила клепаные соединения в 1957 г. (Ижорский завод, котлы КОЗ). Большое развитие в судовом машиностроении получила автоматическая сварка в защитных средах. Теперь сварку применяют при изготовлении узлов судовых машин, работающих в тяжелых условиях под напряжением, а также при повышенных и высоких температурах, т. е. в котлостроении, турбиностроении и при изготовлении корпусов реакторов и парогенераторов.

Приведенный краткий обзор развития судового машиностроения и его технологии является результатом решения многих организационных мероприятий. В 1930 г. в ЛКИ в учебный план была введена новая дисциплина „Технология судового машиностроения” (проф. И. Н. Воскресенский). В 1939 г. на базе Главморпрома был создан Народный комиссариат судостроительной промышленности. Разработка и внедрение научно обоснованных технологических процессов получили организационную базу в 1939 г. после создания специального бюро „Оргсудпром”.

Вопросы технологии судового машиностроения были рассмотрены на 1-й Всесоюзной технологической конференции, проводившейся в 1948 г. в Ленинграде.

Развитию технологии судового машиностроения способствовала успешная деятельность НПО „Ритм” и его филиалов, кафедры технологии судового машиностроения ЛКИ, а также многие ученые (И. Н. Воскресенский, В. Ф. Попов, А. Г. Рохлин, И. А. Дорошенко, Б. М. Образцов и др.).

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СУДОВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Совершенствование судовых машин и механизмов в значительной степени зависит от наличия конструкционных материалов, параметров пара, газа и других рабочих сред. С ростом параметров возникает барьер — надежность, преодолеть который можно только путем применения высококачественных высокопрочных материалов. С целью увеличения ресурса элементов, соприкасающихся с морской водой и другими агрессивными средами, используются трубы из медно-никелевых сплавов и трубы, плакированные медью и различными коррозионно-стойкими покрытиями (эмали, цинк, пластмассы и др.).

В области повышения качества материалов работают специальные научно-исследовательские институты АН СССР, союзных академий, министерств черной и цветной металлургии, большое число отраслевых институтов и лабораторий вузов. То же относится и к другим странам. Известны институты им. Бэтла (США), „Гренгос” (Швеция), лаборатории Круша и Маннесмана (ФРГ) и др.

В ближайшие годы качество сталей будет улучшено: повышена прочность, снижено содержание примесей. Возрастет применение двух- и трехслойного проката, чугунов с шаровидным графитом, пористых металлов.

1.1. ВИДЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В судовом машиностроении применяют конструкционные стали, чугуны и цветные сплавы, получаемые различными способами. Их классифицируют по методам получения, качеству и другим показателям. Ниже приведены обозначения сталей по методам получения:

ЭП — электропробная сталь	Ш — шлаковый переплав
ЭИ — электроисследовательская сталь	ВИ — вакуумно-индукционный переплав
П — электропереплав	ВД — вакуумно-дуговой переплав

Марки конструкционных материалов в действующих государственных стандартах, технических условиях, ценниках и других документах, как правило, обозначают буквами и цифрами: буквами русского алфавита — легирующие элементы, цифрами — процентное содержание углерода и легирующих элементов. В производственных условиях такая система наиболее проста и удобна.

Легирующие элементы в марках сталей:

А – азот	С – кремний	Е – селен
Ю – алюминий	Г – марганец	Т – титан
Л – бериллий	Д – медь	П – фосфор
Р – бор	М – молибден	Х – хром
Ф – ванадий	Н – никель	Ц – церий
В – вольфрам	Б – ниобий	Ц – цирконий
К – кобальт		

Для чугунов применяют стандартные буквенные обозначения:

СЧ – серый чугун	ИЧХ – высокохромистый чугун
КЧ – ковкий чугун	АСЧ – антифрикционный чугун
ВЧ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом	ЖЧ – жаростойкий чугун

Марки цветных сплавов:

АЛ – алюминиевый сплав литейный	Б – баббит
АД – алюминиевый сплав деформируемый	Бр – бронза
АМг – алюминий-магний- сплав	Л – латунь
АМц – алюминий-марганец- сплав	САП – спеченный алюминиевый порошок
	САС – спеченный алюминиевый сплав

Легирующие элементы в сплавах цветных металлов:

А – алюминий	Мг – магний	Н – никель
Б – бериллий	Мц – марганец	О – олово
Ж – железо	М – медь	С – свинец
К – кремний		

В судовом машиностроении применяют главным образом *черные металлы*. Это сплавы на основе железа (стали, чугуны, сплавы, содержащие более 45 % железа) и на основе хрома и марганца.

Все остальные металлы и их сплавы относят к *цветным металлам*.

Конструкционные металлы делят на три вида: первичные, полуфабрикаты и вторичные.

Первичными называют металлы, используемые для получения литых, кованных и прессованных заготовок.

Полуфабрикаты – заготовки, изготовленные литьем, ковкой, прокаткой, волочением и другими методами. Полуфабрикаты в дальнейшем подвергают механической или другой технологической обработке.

К *вторичным металлам* относятся все виды отходов, образующиеся при раскросе и обработке полуфабрикатов и отливок.

В судовом машиностроении применяют различные виды первичных материалов:

- слитки и чушки для литья (массой 5–1000 кг);
- слитки для поковок (массой 0,2–235 т);
- гранулы, губку (бесформенные куски размерами 5–50 мм);

– прессованные прутки, так называемые штабики (массой 0,85–50 кг);

– металлические порошки (частицы размерами 20–100 мкм).

К металлическому полуфабрикату относят листовой, трубный, профильный и сортовой прокат.

В настоящее время применяют листовой прокат толщиной от 0,22 до 160 мм:

Прокат	Толщина, мм
Фольга	0,02–0,15
Тонколистовой	0,4–4,0
Толстолистовой	4,1–160
Плиты	160
Двухслойный	4–160

Листовой прокат из меди, латуней, никелевых и титановых сплавов используют в ограниченном количестве.

Листовой прокат толщиной от 1,2 до 12 мм металлургическая промышленность поставляет потребителям пакетами и в рулонах. Максимальные размеры листов, мм, определены ГОСТ 19903–74:

Толщина	Длина	Ширина
12–25	10 000	2800
26–40	12 000	2100
41–160	9 000	3400

Предельные отклонения листа по толщине от $+1,4$ до $+3,1$ и $-0,8$ до $-4,2$ мм.

Допускаемые отклонения толщины s рулонной стали более жесткие: $s = 1,2 \pm 0,07$; $s = 12 \pm 0,3$ мм.

При постройке современных судов применяют трубы из сталей, цветных металлов (медь, латунь, титан), полимеров и чугунов. С появлением чугуна с шаровидным графитом, который обладает пластичностью, высокой коррозионной стойкостью и другими положительными качествами, появилась возможность более широко использовать чугунные трубы.

Трубопроводы силовых установок изготавливают из бесшовных труб, а общесудовых систем – из электросварных труб. Стальные электросварные трубы (с продольным сварным швом) применяют для трубопроводов, работающих под давлением до 3 МПа и при температуре до 450 °С. Бесшовные трубы для судового машиностроения могут иметь относительную толщину стенки: особо тонкостенные $\beta < 1,05$; тонкостенные $\beta = 1,05 \div 1,1$; нормальные $\beta = 1,1 \div 1,25$; толстостенные $\beta > 1,25$, где $\beta = d_n/d_v$, (d_n , d_v – наружный и внутренний диаметры).

Трубный прокат для трубопроводов и батарей имеет круглое сечение, а для парогенераторов и теплообменных аппаратов – круглое сечение без ребер, с оребрением и шлицами. Для теплообменных аппаратов и воздухоподогревателей парогенераторов наряду с трубами круглого сечения иногда применяют трубы овальной формы и

каплевидные. Двухканальные оребренные и шлицевые трубы пока имеют ограниченное применение. Размеры стальных бесшовных труб, мм, приведены ниже:

Область применения	Наружный диаметр	Толщина стенки
Приборы, системы автоматики	0,3–0,4	0,1–0,8
Парогенераторы, теплообменные аппараты	6–60	0,7–3,75
Корпуса теплообменных аппаратов, фильтров и т. п.	400–1200	До 75

Трубы, предназначенные для парогенераторов и теплообменных аппаратов, поставляют с высокой и повышенной точностью наружного диаметра. Стальной трубный прокат, используемый для трубопроводов, поставляют с обычной точностью, т. е. $\pm 0,6\%$.

Стальной трубный прокат для парогенераторов и теплообменных аппаратов применяют без покрытий, а для систем с коррозионной рабочей средой (например, морская вода) — с защитными покрытиями. Чаще всего используют оцинкованные трубы, а также эмалированные, пластмассовые и футерованные трубы.

Цинковое покрытие наносят различными методами. Наиболее экономичным является термодиффузионный метод, так как вместо цинка используют цинковую пыль (отходы цинкового производства). Шихта, в которую погружают трубы, состоит из цинковой пыли (70 %) и кварцевого песка (30 %). Толщина покрытия составляет 150 мкм. Скорость коррозии труб с термодиффузионным покрытием в морской воде не превышает 0,095 мм/год.

Процесс эмалирования состоит в том, что шликер (SiO_2 — 58 %, Na_2O — 15 %, TiO_2 — 5 % и др.), нанесенный на трубу, подвергают обжигу при температуре 850–900 °С до образования стекловидной пленки. Эмалевое покрытие имеет толщину 0,3–0,4 мм.

Двухслойные стальные трубы состоят из несущего слоя из стали 10, 20 и защитного слоя толщиной 0,4–1,4 мм из коррозионно-стойкого металла МЗр (медь), НП-2 (никель) и др. Иногда наносят защитный слой из винилпласта и полиэтилена толщиной 1,4–4,5 мм. В этом случае трубы могут надежно работать только при температурах до 90 °С, при более высоких температурах (до 135 °С) можно применять пентопласт.

Наиболее стойкими в морской воде, но дорогими являются трубы из цветных металлов и их сплавов: МЗр, Л68, Л070-1, ЛА77-2, МНЖ5-1, МЖМц28-2,5-1,5, ОТ5 и др.

Профильный прокат из сталей и алюминиевых сплавов (угольники, тавры, швеллеры и т. п.) различных размеров используют в судовом машиностроении для изготовления вспомогательных деталей, работающих в нормальных условиях (каркасы, опоры, элементы крепления и т. п.). Из сортового проката (прутки, полосы) выполняют крепежные детали, детали каркасов и обшивок.

В настоящее время в судовом машиностроении внедряется порошковая металлургия (метод П. Г. Соболевского). Отечественная промышленность выпускает порошки почти всех металлов с гранулометрическим составом от 1 до 10 мкм.

Роторы, валы валопроводов, баллеры рулей, различные бесшовные сосуды и другие изделия в судовом машиностроении изготавливают из поковок (слитков) из углеродистых и специальных сталей и титана. В качестве заготовок используют слитки многогранного сечения (4–10 граней) массой от 0,2 до 225 т.

1.2. ПРАВИЛА ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Государственные стандарты охватывают большое количество материалов, поставляемых для использования в различных отраслях. Отраслевые стандарты существенно ограничивают сортамент материалов, что обеспечивает изготовление оборудования с минимальными затратами. В отраслевых стандартах судового машиностроения учитываются условия эксплуатации (параметры, рабочие среды, переменные режимы и т. п.), стремление создать оборудование возможно малых габаритов и массы, обеспечение безотказности работы оборудования и заданного ресурса.

Ограничения отраслевых стандартов позволяют в значительной мере уменьшить количество технологической оснастки и тем самым снизить продолжительность и трудоемкость изготовления и монтажа механического оборудования. Так, например, отраслевой стандарт № на марки и сортамент труб из цветных сплавов для судовых теплообменных аппаратов охватывает только 67 типоразмеров. Сокращение типоразмеров труб, используемых в судовом парогенераторостроении, до десяти даст возможность ограничить количество унифицированных погيبов, инструмента и приспособлений.

Завод-изготовитель судового механического оборудования (машины, парогенераторы, механизмы и аппараты) должен гарантировать его безотказную работу в пределах расчетного (заданного) ресурса. Существует показатель – *гарантийный срок*, в течение которого завод-изготовитель агрегата гарантирует его надежную работу при условии правильной эксплуатации в соответствии с инструкцией по обслуживанию. Завод-изготовитель обязан безвозмездно устранить дефекты, неисправности и заменить детали, вышедшие из строя в результате поломки или преждевременного износа, происходящих из-за неудовлетворительного изготовления или применения некачественного материала. Следовательно, изготовитель несет полную ответственность за качество металла независимо от причины отказа. Несмотря на это, заказчик совместно с ОТК завода контролирует технологию изготовления и качество материала.

Судовое механическое оборудование транспортных и рыбопромысловых судов изготавливают в соответствии с Правилами Регистра СССР.

Регистр СССР – орган государственного надзора и юридическое лицо. Все решения Регистра СССР технического характера окончательны и не пересматриваются даже арбитражем.

Применительно к материалам, используемым в судовом машиностроении, на Регистр СССР возлагается:

- рассмотрение и утверждение нормативных документов;
- технический надзор за применением материалов;
- участие в экспертизах и обсуждениях по применению новых материалов;
- запрещение или разрешение применения новых материалов;
- наблюдение при внесении сертификатных данных о свойствах материалов в формуляры изделий.

При запуске в производство механизмов, аппаратов и другого механического оборудования Регистру СССР должны быть предъявлены сведения о механических и технологических свойствах, а также химическом составе применяемых материалов.

К функциям отдела технического контроля, так же как и Регистра, относится контроль качества материалов и полуфабрикатов по данным ГОСТов, ОСТов или ТУ. Технический контроль осуществляется на всех стадиях производства, начиная от поступления материалов и полуфабрикатов на завод. Данные сертификатного контроля представляют собой первичную информацию о качестве материалов, сопоставляемую с данными проекта изделия.

Контролеры ОТК принимают участие в приемке материалов и отпуске их по цехам. Кроме того, ОТК ведет наблюдение за правильным хранением материалов на складах. Приемку материалов и полуфабрикатов ОТК производит в соответствии со стандартами и ТУ.

Пробы материалов для центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) отбирают под наблюдением контролера бюро приемки материалов и технического контроля.

При контроле материалов применяют два метода испытаний: неразрушающий и разрушающий. *Неразрушающий контроль* – метод испытания, при котором сохраняется пригодность испытываемого образца. По используемым средствам различают контроль измерительный, регистрационный, органолептический и по контрольному образцу.

При контроле материалов применяют сплошной и выборочный методы. *Сплошной контроль* – проверка каждой единицы полуфабриката (например, трубы для судовой ядерной энергетической установки). *Выборочный контроль* производят на отдельных выборках из партии или пробах.

1.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СНАБЖЕНИЕ

Материалы промышленным предприятиям поставляются по единой государственной системе, сочетающей централизованную поставку материалов через Госснаб, отраслевую, т. е. распределение фондов по

министерствам, и территориальную, т. е. по управлениям материально-технического снабжения (например Ленинградский район). Государственная система поставки материалов должна обеспечивать плановое, точное и бесперебойное снабжение предприятия необходимыми материалами.

Поставка материалов заводам судового машиностроения производится через базы Главснаба или непосредственно заводами-поставщиками по оптовым ценам действующих прейскурантов, утвержденных Государственным комитетом цен Госплана СССР.

Заявка на металл может предусматривать незначительное превышение расхода (до 15 %), учитывающее перевыполнение плана программы и различные непредвиденные обстоятельства.

Материалы поставляют партиями. *Партией* называется количество полуфабриката (проката) данного типоразмера, полученного из металла одной плавки. Одновременно с металлом потребитель получает от поставщика *сертификат* — документ, удостоверяющий качество поставляемого металла и соответствие его требованиям ГОСТов (ОСТов, ТУ). Сертификат состоит из трех разделов.

I. Сведения завода-изготовителя о сортаменте и марке металла, номере плавки, размере партии и размерах единицы проката.

II. Результаты лабораторных испытаний, включающие данные о химическом составе; значения параметров, определяющих механические свойства; технологические характеристики; дополнительные данные о свойствах, определяемых по особому требованию потребителя.

III. Данные, удостоверяющие качество металла: подпись и клеймо ОТК; номер сертификата и дата его выпуска.

Данные сертификата используют при запуске металла в производство (при сертификатном контроле); для заполнения формуляров на изделия; при разногласиях, возникающих между поставщиком и потребителем.

Приемка материала (металла) на заводе-изготовителе оборудования является важнейшим этапом производственного, в том числе технологического, процесса. От уровня приемки зависит качество выпускаемой продукции, т. е. гарантийный срок, ресурс и срок службы изделия. Приемка металла должна быть особо тщательной при запуске в производство новой модели изделия или применении нового материала, а также при изготовлении деталей, работающих при высоких параметрах (температура, давление и т. п.).

Приемка конструкционного металла включает сертификатный контроль, взвешивание, внешний осмотр, проверку размеров. Кроме того, иногда производят дефектоскопию (ультразвуковую, гидравлические испытания и т. п.) и другие контрольные испытания.

Сертификатный контроль состоит в проверке данных документа на поступающий металл. При использовании металла для изготовления неотчетственных деталей проверяют только маркировку металла.

Взвешивание — операция чисто товароведческая и ее производят при приемке на хранение только дорогих и драгоценных металлов

(золото, серебро, палладий, иридий, родий, серебряные припои, бериллиевая бронза и др.).

В процессе внешнего осмотра устанавливают марку материала, выявляют видимые дефекты и проверяют размеры.

Качество проката регламентируется ГОСТ 19903—74 и 19904—74. К видимым дефектам относят различные механические повреждения, следы коррозии и поверхностные дефекты металлургического характера.

При приемке листового проката, предназначенного для ответственных деталей, проверяют только толщину (по краям), чтобы не допустить листы с чрезмерным отклонением по толщине. Размеры труб (наружный диаметр, овальность, толщину стенки) контролируют выборочно. Только для парогенераторов судовых атомных установок проверяют каждую трубу.

Дефектоскопию производят для выявления скрытых дефектов металлургического характера (наследственности), как правило, на прокатном заводе после термообработки.

Контрольные испытания (определение химического состава, механических характеристик) производят на заводе-изготовителе оборудования периодически, выборочно, а также в следующих случаях: при освоении нового металла; при выявлении дефектов в процессе производства; при утере маркировки (пересортица); при возникновении разногласий по данным сертификата.

Контрольные испытания для арбитража выполняют в лаборатории сторонней организации.

Кроме того, испытания материалов, в том числе и технологические, производят в большом объеме по ходу технологического процесса (после сварки, термообработки и т. п.).

1.4. ПУТИ ЭКОНОМИИ МАТЕРИАЛОВ

Экономия материалов должна осуществляться на всех этапах, от проектирования и до изготовления деталей и оборудования. Так, на стадии проектирования и конструирования экономии материала можно добиться, снижая материалоемкость изготавливаемого механического оборудования, а также применяя высококачественные высокопрочные металлы, новые виды сортамента проката и прокат с защитными покрытиями.

В процессе производства экономия материалов может быть достигнута за счет контроля за расходом материалов и снижения потерь при хранении, заготовительных операциях и обработке. Необходимо также применять при изготовлении деталей наиболее совершенные (безотходные) методы (точное литье, литье в вакууме, нагрев в защитных средах и т. п.). Кроме того, экономии металла способствует сокращение номенклатуры марок и типоразмеров исходного металла.

Отходы, в том числе используемые, должны быть минимальными также с целью снижения трудоемкости обработки. Использование металла оценивают при помощи коэффициента использования

$$\eta_{и.м} = \frac{M_{из}}{M_{заг}} 100 \%,$$

где $M_{из}$ — масса изделия после обработки; $M_{заг}$ — масса заготовки.

1.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Под *технологическими свойствами* металлов понимают способность материала воспринимать воздействия, которым он будет подвергнут при различных видах обработки.

К основным технологическим свойствам относятся деформируемость, свариваемость и спекаемость, литейные свойства, обрабатываемость.

Деформируемость — способность металла воспринимать пластическую деформацию без макроскопического нарушения сплошности.

Деформируемость характеризуется степенью пластической деформации ϵ , коэффициентом упругой отдачи C и коэффициентом ковкости K .

Степень пластической деформации показывает предельную деформацию, воспринимаемую металлом без разрушения, и выражается в процентах. Например, на сжатие

$$\epsilon_{сж} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} 100 \%,$$

где H_1, H_2 — высота образца до и после сжатия.

Степень пластической деформации является важной характеристикой, определяющей условия деформирования металла. Зная этот показатель, можно получить изделие заданной конфигурации при минимальном количестве нагрева с ограничением или без промежуточной термической обработки, выбрать оптимальные параметры технологического процесса (нагрев и т. п.) и предотвратить возникновение брака.

Коэффициент упругой отдачи показывает упругие свойства металла при холодном деформировании (гибке, отбортовке и т. п.):

$$C = R_2 / R_1,$$

где R_1 — радиус изгиба при приложении нагрузки; R_2 — радиус после снятия нагрузки.