

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Кораблестроение и гидравлика»

В. Н. Шарий

# ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ

Конспект лекций  
для студентов специальности  
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация  
водного транспорта»

В 3 частях

Часть 1

М и н с к  
Б Н Т У  
2 0 1 3

УДК 629.5:378.147.091.313 (075.8)

ББК 39.42я 7

Ш25

Рецензенты:  
*Л.А. Исавич, А.А. Хмелев*

**Шарий, В. Н.**

Ш25 Технологии судостроения : конспект лекций для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» : в 3 ч. / В. Н. Шарий. – Минск : БНТУ, 2013– – Ч. 1. – 2013. – 116 с.

ISBN 978-985-550-100-9 (Ч. 1).

Издание содержит краткие сведения о подготовке судостроительного производства, обеспечении качества продукции, экономической оценке технологических процессов. Рассмотрены плазовые работы, а также теоретические основы и сущность типовых технологических процессов изготовления деталей корпуса судна.

УДК 629.5:378.147.091.313 (075.8)

ББК 39.42я 7

ISBN 978-985-550-100-9 (Ч. 1)

ISBN 978-985-550-189-4

© Шарий В.Н., 2013

© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 4   |
| 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ.....  | 4   |
| 1.1. Производственные и технологические процессы<br>в судостроении.....                                    | 4   |
| 1.2. Основные сведения о подготовке производства<br>к постройке судна.....                                 | 13  |
| 1.3. Экономическая оценка технологических процессов.....   | 20  |
| 1.4. Качество и точность изготовления конструкций<br>в судостроении.....                                   | 24  |
| 2. ПЛАЗОВЫЕ РАБОТЫ.....  | 41  |
| 2.1. Плазовая разбивка судна.....  | 41  |
| 2.2. Определение формы и размеров деталей корпуса.....   | 44  |
| 2.3. Применение САД/САМ/САЕ систем для плазовой<br>подготовки производства.....                            | 57  |
| 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА СУДНА.....   | 60  |
| 3.1. Технологическая классификация деталей корпуса<br>и операций по их изготовлению.....                   | 60  |
| 3.2. Предварительная обработка листов и профилей.....  | 63  |
| 3.3. Разметка листов и профилей.....   | 68  |
| 3.4. Тепловая резка.....   | 71  |
| 3.5. Механическая обработка листовых и профильных<br>материалов.....                                       | 78  |
| 3.6. Импульсная резка листов и профилей на газодинамических<br>установках, работающих по принципу ДВС..... | 85  |
| 3.7. Гибка деталей.....  | 90  |
| 3.8. Корпусообработывающий цех.....  | 107 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....  | 115 |

## ВВЕДЕНИЕ

В издании представлены содержание и объем типовой учебной дисциплины по технологии судостроения для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта», а также содержатся методические указания по изучению дисциплины и список рекомендованной литературы.

В основу данного издания положены материалы, приведенные в учебнике В.Д. Мацкевича «Основы технологии судостроения», выпущенном в 1980 г., также более подробно рассмотрены техпроцессы, применяемые при изготовлении современных металлических судов.

## 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ

### 1.1. Производственные и технологические процессы в судостроении

*Технология судостроения* является наукой, изучающей сущность производственных процессов постройки судов, взаимную связь этих процессов и закономерности их развития.

*Производственный процесс* есть совокупность всех действий, направленных на превращение материалов и полуфабрикатов в законченную продукцию – предмет производства.

Производственный процесс постройки судна включает получение и обработку материалов для корпуса и оборудования, сборку и сварку частей корпуса и целого корпуса, изготовление и монтаж различных устройств, систем, аппаратов и приборов, отделку помещений, наладку разных технических средств, испытания и сдачу судна заказчику.

Составляющие элементы общего процесса постройки такого сложного сооружения, как судно, представляют собой частные производственные процессы. Все частные производственные процессы на судостроительном предприятии принято группировать по десяти видам производств (табл. 1.1).

### Виды производств в судостроении

| Виды производств                        | Содержание производственных процессов   |
|---|---|
| 1. Корпусообрабатывающее                | Изготовление деталей корпуса из проката   |
| 2. Сборочно-сварочное                   | Изготовление узлов, секций и блоков корпуса   |
| 3. Корпусостроительное (стапельное)     | Формирование корпуса из частей на построечном месте (стапеле)   |
| 4. Трубомедницкое                       | Изготовление узлов трубопроводов и разных теплообменных аппаратов   |
| 5. Механомонтажное                      | Установка и монтаж механического оборудования   |
| 6. Слесарно-корпусное (заготовительное) | Изготовление металлических деталей и узлов оборудования помещений, вентиляции, конструкций отделки, устройств и насыщения |
| 7. Слесарно-корпусное (монтажное)       | Монтаж на судне указанных выше деталей и узлов  |
| 8. Изоляционно-малярное                 | Заготовка и установка изоляции судовых помещений и оборудования; выполнение окрасочных работ.                             |
| 9. Столярно-плотничное                  | Изготовление и монтаж на судне деревянных элементов оборудования, установка облицовок и отделки помещений                 |
| 10. Электрорадиомонтажное               | Комплектация, установка и монтаж электро-, радио- и навигационного оборудования на судне                                  |

В ходе каждого производственного процесса объекты труда заготавливают, транспортируют, складывают, различным образом обрабатывают, собирают, подвергают контролю и т. д., пока не будет создано изделие.

**Технологический процесс** – часть производственного процесса, связанная с изменением и последующим определением состояния предмета производства.

В ходе технологического процесса осуществляются трудовые действия или происходят естественные процессы. Они приводят к изменению формы, внешнего вида или внутренних свойств предмета труда. Например, при технологическом процессе окраски нанесение краски на поверхность является процессом трудовым, а высыхание ее на воздухе – процессом естественным.

Каждый производственный процесс разделяется на операции (рис. 1.1).

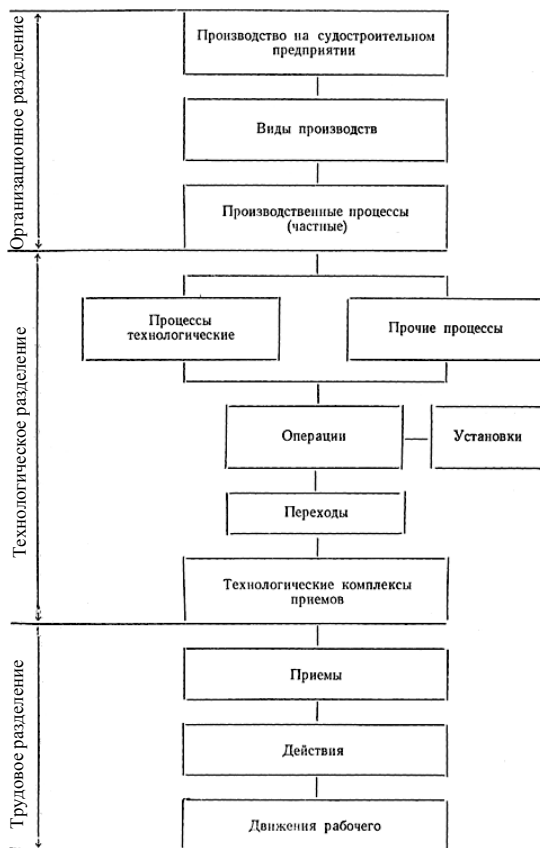


Рис. 1.1. Схема разделения процесса судостроительного производства на элементы

**Операцией** называется законченная часть производственного процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109–73). Она выполняется неизменными исполнителями, включает все последовательные действия рабочих над обрабатываемым или собираемым предметом труда. Примеры операций:

разрезка листа на детали на стационарной машине для тепловой резки;

установка на полотнище переборки и закрепление на нем электроприхватками ребер жесткости;

наклейка изоляции на поверхность борта в каюте и т. д.

Операция является основной единицей при планировании, организации и учете процессов производства на рабочих местах, а также в изучении трудовых процессов.

Операции разделяют на переходы и технологические комплексы приемов (ТКП), а при детальном изучении характера и длительности трудовых процессов еще рассматривают приемы, действия и движения рабочего.

**Переходом** называется часть операции, представляющая собой совокупность действий, направленных на обработку определенной поверхности или изменение взаимного положения собираемых элементов при одном режиме работы оборудования и одним и тем же инструментом. Например, в операции установки ребер жесткости на полотнище переходом является установка каждого отдельного ребра.

Переходы слагаются из **технологических комплексов приемов** (ТКП), представляющих собой объединение нескольких последовательных приемов, обеспечивающих достижение определенной технологической цели (например, установить, ориентировать, проверить, прихватить и т. д.).

Наконец, более мелкие составляющие – **приемы, действия и движения** рабочего – представляют собой трудовые элементы, которые анализируются, например, при массовом производстве или при разработке средств механизации.

Под **механизацией** понимают замену ручного труда человека работой машины. Если механизацией охвачены все участки данного производства, на которых осуществляются и технологические и вспомогательные процессы, то данное производство называют комплексно-механизированным. Непосредственное участие человека в управлении машинами при этом сохраняется.

При **автоматизации** производства (полной или частичной) человек не участвует в управлении машинами – оно передается различным автоматическим устройствам.

Естественно, что переход к автоматизированным производствам требует больших капитальных вложений, затрачиваемых на проектирование и изготовление всего автоматизированного оборудова-

ния, а также на подготовку программ и переналадку оборудования. Эти затраты скорее окупятся при массовом или крупносерийном типе производства, чем при малосерийном или единичном.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций  $K_{з.о}$  (вычисляемым помесечно) за определенным рабочим местом:

$$K_{з.о} = \frac{\hat{I}}{D},$$

где  $O$  – число различных операций;

$P$  – число рабочих мест, на которых выполняются различные операции в течение месяца.

Производство принято считать:

- массовым, если  $K_{з.о} = 1$ ;
- крупносерийным, если  $1 < K_{з.о} < 10$ ;
- среднесерийным если  $10 < K_{з.о} < 20$ ;
- мелкосерийным, если  $20 < K_{з.о} < 40$ ;
- единичным, если  $K_{з.о}$  не регламентировано.

В серийном производстве изготавливают серии одинаковых изделий, регулярно выпускаемых через равномерные промежутки времени, называемые **тактом** выпуска  $t$ :

$$t = \frac{T}{N},$$

где  $T$  – календарный отрезок времени;

$N$  – количество изделий, выпускаемых за календарный отрезок времени.

Если изделия выпускаются крупными сериями или производство массовое, то оказывается возможным специализировать рабочие места и расположить оборудование в виде линий по ходу технологического процесса. Изделия передаются с позиции на позицию линии. Если при этом длительность операций на всех позициях равна (или кратна) такту, то линия называется **поточной**.

На судостроительных предприятиях крупносерийное производство организовано лишь в отдельных цехах, например в корпусо-обрабатывающем или трубозаготовительном.



Единицу промышленной продукции, исчисляемой в экземплярах или штуках, называют **изделием**. Сложные изделия машиностроения по степени усложнения разделяют на составные элементы: детали, сборочные единицы, комплексы, а также комплекты (ГОСТ 2.101–68).

**Деталь** есть изделие или первичный элемент сложного изделия, изготовленный из материала одной марки без применения сборочных операций.

**Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе посредством сборочных операций.

**Комплекс** есть группа нескольких сборочных единиц и деталей, смонтированных на базовой детали.

**Комплектами** называют группы из нескольких изделий общего функционального назначения, не соединяемых на предприятии-изготовителе сборочными операциями.

В судостроении приняты несколько иные специфические названия составных частей сложных изделий. Так, при изготовлении корпуса выделяют:

**деталь** – определение ее дано выше;

**узел** (или сборочная единица) – технологически законченная часть корпусной конструкции, состоящая из нескольких деталей (технологически законченная означает, что узел может быть передан на следующую операцию сборки). Некоторые узлы корпусных конструкций показаны на рис. 1.2;

**секция** (корпуса) – технологически законченная, отдельно изготавливаемая часть корпуса, состоящая из ряда узлов и отдельных деталей и обычно включающая часть насыщения. *Насыщением секции* принято называть мелкие фундаменты, детали и узлы судовых устройств, систем и оборудования, а также детали крепления изоляции и отделки помещений, устанавливаемые на корпусные конструкции. Впрочем, иногда встречаются секции, не содержащие деталей насыщения, например при постройке корпуса барж простой конструкции;

**блок секций** – часть корпуса судна, отсеченная плоскостями, параллельными мидель-шпангоуту, а иногда и палубам, и отдельно формируемая из секций, узлов и деталей;

**блок судна**, часто называемый просто блоком, представляет собой блок секций с установленными в нем элементами систем, устройств, механизмов, оборудования отделки помещений и т. п.

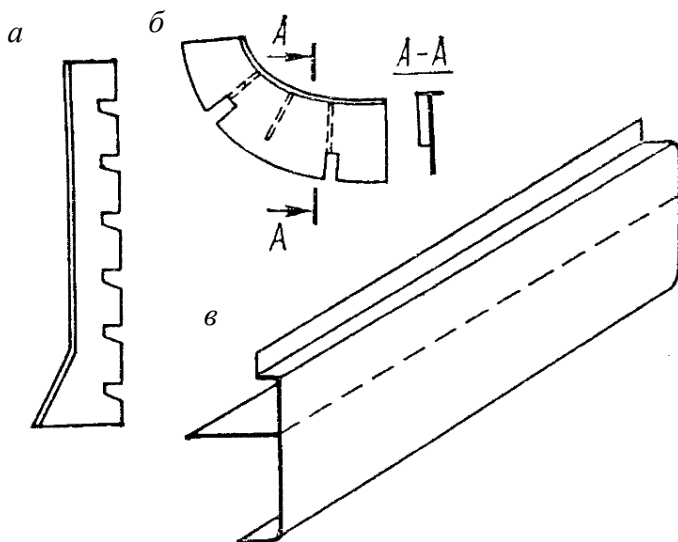


Рис. 1.2. Примеры узлов корпусных конструкций:  
*a* – тавровая балка с вырезами; *б* – кница с ребрами и пояском;  
*в* – узел комингса люка

Кроме того, при монтаже судовых механизмов и оборудования выделяют специфические названия объектов производства: агрегаты, монтажные блоки, зональные и электромонтажные заготовки, электросхемы и др.

Разделение объекта производства на более мелкие составные части оказывается важным для выбора оптимальных технологических процессов изготовления этих частей.

В последние годы применительно к конструкции судов и технологии их постройки получил распространение термин «модуль» (от латинского *modulus* – мера).

В широкой номенклатуре изделий, изготавливаемых или собираемых в цехах данного судостроительного предприятия или получаемых от так называемых контрагентов, следует еще упомянуть:

**изделие комплектующее** – изделие, предназначенное для применения в составе другого изделия и изготовленное на другом предприятии, например, резиновые амортизаторы, стекла (для иллюминаторов), стандартные пружины и т. д.;

**изделия МСЧ** (машиностроительной части) – специфическое название большой группы мелких изделий, изготавливаемых в механических цехах предприятия (точением, фрезерованием, строганием и т. д.) и устанавливаемых на корпусные конструкции или на оборудование судна;

**крепежные детали** – изделия, служащие для механического скрепления собираемых элементов (болты с гайками, шпильки, винты и пр.). Крепеж частично закупается на стороне, а частично изготавливается цехами предприятия.

В производственном процессе постройки судна можно условно выделить пять (или четыре) основных периодов.

В **заготовительный период** обрабатывается материал корпуса судна, собираются узлы, секции, изготавливаются детали и изделия МСЧ.

**Блочный период** выделяется в том случае, если изготовление блоков предусмотрено технологическим процессом постройки судна. В течение этого периода производится сборка блоков корпуса из деталей, сборочных единиц и секций. Могут проводиться также гидравлические испытания корпусных конструкций блоков и в предельно возможном объеме – монтаж механизмов и оборудования в них.

**Стапельный период** считается от момента установки закладной секции или блока на построечном месте и до спуска.

В **достроечный период** после спуска выполняют механомонтажные и отделочные работы, устанавливают устройства и оборудование. Эти работы, ранее выполнявшиеся после спуска, теперь начинают значительно раньше.

В **сдаточный период** осуществляют швартовные, ходовые и государственные испытания. Период заканчивается подписанием приемосдаточного акта на судно.

Каждый период, в свою очередь, разбивают на технологические этапы. Для сокращения сроков постройки работы разных периодов могут частично перекрывать друг друга, например, достроечные работы иногда начинают еще на стапеле.

По мере выполнения отдельных этапов растет техническая готовность судна, возрастает объем вложенных в его постройку средств. Естественно, что эти средства должны постепенно возмещаться заказчиком. В связи с длительным сроком постройки в судостроении принят порядок, согласно которому оплата стоимости судна производится заказчиком не единовременно после окончания постройки, а постепенно в ходе ее. Оплачиваемые суммы оговариваются в так называемой таблице платежей, прилагаемой к договору на постройку.

Затраты труда на постройку судна должны быть как можно меньше. Это достигается двумя путями. Во-первых, использованием *принципов специализации производства*. Специализация судостроительного предприятия выражается прежде всего в закреплении за ним постройки судов одного типа или судов близких типов.

Во-вторых, применяется *принцип производственного кооперирования*. Это означает, что судостроительное предприятие, получая изделия от смежных заводов, некоторые закрепленные за ним механизмы, оборудование и изделия изготавливает самостоятельно как для себя, так и для других предприятий. В результате повышается серийность производства и соответственно его эффективность.

Структура предприятия, номенклатура цехов, виды построечно-спусковых комплексов, планировка территории и экономические показатели работы зависят от вида, количества и размеров строящихся судов.

В судостроительной практике предприятия иногда классифицируют в зависимости от наибольшей длины судов, суда при этом разделяют на крупные – более 200 м, средние – от 80 до 200 м, малые – от 25 до 80 м, мелкие – менее 25 м.

Однако в качестве критерия для деления судостроительных предприятий на классы, как правило, принимается не длина, а спусковая масса строящегося судна и соответствующие ей типы построечных мест и спусковых сооружений. К *I классу* относят предприятия крупного судостроения, на которых спусковая масса строящихся судов составляет 7000 т. В отдельных случаях масса судов перед спуском может достигать 50000 т и больше, при этом постройка ведется в сухих доках. На предприятиях *II класса* строят

суда со спусковой массой от 3500 до 7000 т; на предприятиях *III класса* – от 1000 до 3500 т; *IV класса* – от 250 до 1000 т и *V класса* – для постройки мелких судов, масса которых перед спуском не превышает 250 т.

## **1.2. Основные сведения о подготовке производства к постройке судна**

Подготовку производства в судостроении можно условно разделить на пять видов:

- 1) конструкторскую (включая выполнение опытных работ);
- 2) материально-техническую;
- 3) технологическую;
- 4) выполнение реконструкции предприятия;
- 5) подготовку кадров по новым видам работ, характерным для данного проекта судна.

Подготовку производства выполняют по специальному графику и начинают задолго до начала постройки. В настоящее время средняя продолжительность постройки серийного транспортного судна от момента закладки до сдачи составляет около 8–10 месяцев. Однако там, где применяется прогрессивная технология постройки, возможны и значительно меньшие сроки.

Меньший срок постройки требует особенно тщательной и заблаговременной подготовки, которая может занимать от шести месяцев до одного года и больше (считая с момента получения технического проекта судна и до момента закладки корпуса). Объем и содержание подготовки к постройке судна могут быть различными. Они зависят от типа судна, его сложности, объема строящейся серии и заданных сроков постройки.

Конструкторская подготовка заключается в разработке, согласовании и утверждении проектно-конструкторской документации по судну. Она начинается с составления технического задания, проходит несколько стадий, в том числе и составление технического проекта, и завершается рабочим проектом.

В качестве основы для разработки рабочих чертежей принимается утвержденный заказчиком технический проект судна, включающий общие чертежи, а также спецификации, т. е. подробные описания судна и его частей, и предварительные заказные ведо-

мости на материалы и оборудование. Технический проект является основным договорным документом, определяющим обязательства завода, связанные с выполнением задания-заказа.

В рабочем проекте разрабатывают и согласовывают рабочие чертежи, заказные ведомости на изделия и оборудование, устанавливаемые на судно. В этот же период выполняют опытные работы, необходимые для постройки. Рабочие чертежи служат исходным материалом для работы цехов, участвующих в постройке. По ним производят технологическую подготовку производства.

Материально-техническая подготовка производства состоит в размещении заказов на все основные материалы, предусмотренные заказными ведомостями, а также на комплектующие изделия и судовое оборудование, которое изготавливается на стороне, а не в цехах самой верфи. Заказы оформляют договорами с поставщиками на основе фондов, выделяемых заводу планируемыми организациями.

Материалы и оборудование поступают на завод постепенно и хранятся в отделениях «главного магазина», т. е. на складах, до момента их использования. В интересах всего народного хозяйства сроки хранения на складах должны быть минимальными, чтобы средства не замораживались.

Технологическая подготовка производства для предприятий машиностроения и приборостроения должна осуществляться в рамках так называемой ЕСТПП – единой системы технологической подготовки производства (ГОСТ 14.001–73).

Применение комплекса стандартов ЕСТПП для судостроения ввиду специфики производства возможно лишь частично. Поэтому технологическая подготовка производства в судостроении осуществляется несколько иначе. Главное ее содержание сводится к тому, чтобы разработать график подготовки производства и технологический график постройки судна с оценкой затрат труда, установить, как должна выполняться постройка всего судна и его частей, какие производственное оборудование, оснастка и приспособления необходимы для постройки и как должны осуществляться отдельные технологические процессы в ходе постройки.

***Производственным оборудованием*** называют совокупность машин и устройств, постоянно находящихся в цехе и предназначенных для выполнения или обслуживания производственного

процесса (станки, краны, цеховые транспортные средства, стенды для сборки и сварки, источники сварочного тока, универсальные переналаживаемые сборочные постели и т. д.).

**Оснасткой** называют совокупность технических средств, которыми снабжено производственное оборудование с целью облегчения выполнения тех или иных операций, например специализированные легкой конструкции сборочные постели, устанавливаемые на стенд; грузозахватные приспособления на кранах; опорные устройства, поддерживающие изделия у станков, и т. д.

**Приспособлениями** называют устройства, при помощи которых выполняют отдельные операции. Одни приспособления могут входить в состав оснастки, т. е. их используют совместно с оборудованием, например упоры или направляющие к станку; другие применяют независимо от производственного оборудования (сборочные захваты, клинья и др.).

**Инструментом** называют переносные орудия труда установленного вида, служащие для выполнения какой-либо операции или ее части. Инструмент может применяться вручную или закрепляться на станке.

В ходе технологической подготовки в судостроении разрабатывают:

- а) технологический график с разбивкой на этапы;
- б) ведомость (перечень) технологических комплектов по работам верфи, а также номенклатурные ведомости на изделия МСЧ;
- в) типовые или единичные технологические процессы;
- г) ряд других технологических документов, в том числе журнал приемки ОТК.

Кроме того, разрабатывают чертежи оснастки, составляют технологическо-нормировочные карты по выполнению отдельных (нетиповых) видов работ.

Технологический график постройки судна составляется в ленточном или сетевом исполнении (табл. 1.2). Он разделяется на периоды постройки и технологические этапы. Также технологический график содержит расчетную трудоемкость по видам работ, перечень цехов или отделов-исполнителей и нарастающую готовность судна в процентах.

Таблица 1.2

Фрагмент ленточного графика постройки судна

| № п/п            | Наименование работ в технологическом плане    | Норма труда: |     | Цех или отдел-исполнитель | Неработное время: % | Продолжительность, дни | Периоды постройки     |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
|------------------|---|--------------|-----|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|----|----|----|-----|--|---------|--|--|--|--|--|
|                  |   | сметы:       |     |                           |                     |                        | Заготовительный       |    |    |    |     |  | Блочный |  |  |  |  |  |
|                  |   | тыс. руб.    | %   |                           |                     |                        | Технологические этапы |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
|                  |   |              |     |                           |                     |                        | I                     |    | II |    | ... |  | VI      |  |  |  |  |  |
| Месяцы постройки |   |              |     |                           |                     |                        |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
|                  |   | 1            | 2   | ...                       | 6                   | 7                      | ...                   | 21 | 22 | 23 | ... |  |         |  |  |  |  |  |
| 1.1              | Обработка деталей средней части корпуса       | 0,3          | 1,5 | № 4                       | 1,9                 | 30                     |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| 1.2              | То же окончностей                             | 0,4          | 0,8 | № 4                       | 2,8                 | 12                     |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| ...              | ...   | ...          | ... | ...                       | ...                 | ...                    |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| 2.3              | Изготовление секций средней части корпуса     | 1,3          | 2,5 | № 7                       | 6,0                 | 42                     |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| ...              | ...   | ...          | ... | ...                       | ...                 | ...                    |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| 6.1              | Сборка и сварка блочной средней части корпуса | 1,0          | 2,0 | № 1                       | 18,2                | 19                     |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| 6.2              | Сборка и сварка блочной окончностей           | 0,5          | 1,2 | № 1                       | 21,2                | 25                     |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |
| ...              | ...   | ...          | ... | ...                       | ...                 | ...                    |                       |    |    |    |     |  |         |  |  |  |  |  |

Ведомость технологических комплектов составляется технологической службой на основе данных технического проекта судна.

**Технологическим комплектом** называют совокупность работ по конкретному объекту судна, выполняемых цехом или участком в технологической последовательности без перерыва и открывающих фронт работ смежному цеху или участку или обеспечивающих окончательную сдачу готового объекта. Для примера можно привести некоторые из 185 технологических комплектов, установленных при постройке морских буксиров мощностью 1200 л. с.:

технологический комплект № 2 – изготовление днищевой секции в районе 44–54-го шпангоутов;

№ 13 – изготовление поперечной переборки на 54-м шпангоуте;

№ 19 – монтаж вспомогательного котла и механизмов к нему;

№ 77 – монтаж спасательной и водоотливной систем и т. д.

Технологические комплекты служат основной планово-учетной единицей деятельности цехов. По ним ведут расчеты затрат, планируют работу цехов и выпуск рабочих чертежей, группируют устанавливаемые на судно изделия и т. д.

Технологические комплекты разделяют на работы верфи и так называемой машиностроительной части (МСЧ), если она имеется в составе данного предприятия.



Следует отметить, что по действующему стандарту разработка технологических процессов в машиностроении и приборостроении должна в общем случае включать: выбор заготовок; выбор технологических баз; подбор типового технологического процесса; назначение режимов выполнения операций и их нормирование и т. д. Эти общие положения государственного стандарта используются в судостроении лишь частично. Вследствие единичного характера производства технологические процессы здесь разрабатываются не столь подробно. На разовые операции и рядовые работы, не имеющие специфических особенностей и выполняемые одинаково при постройке как данного судна, так и любого другого, отдельные документы на технологические процессы обычно не разрабатываются. Такие работы выполняются по постоянно действующим в цехах типовым технологическим процессам, составленным в соответствии с действующими отраслевыми стандартами (ОСТ) или «Основными положениями», едиными для всех заводов судостроительной промышленности.

Технологические процессы изготовления обязательно разрабатывают для сложных работ и новых ответственных конструкций. Кроме того, по всем выпускаемым в производство чертежам (за исключением чисто корпусных) технологической службой разрабатываются так называемые расцеховки, указывающие очередность участия цехов в изготовлении изделия. В составляемых цеховых маршрутных технологических картах приводится последовательность прохождения изготавливаемого изделия по участкам цеха.

При большом числе однородных изделий (листовых, профильных и т. д.), но различающихся формой и размерами, например при изготовлении деталей корпуса судна, применяют групповую технологию.

**Групповая технология** заключается в том, что изготавливаемые изделия распределяют по технологическим группам и выполняют по типовому технологическому процессу, характеризующему общностью оборудования и технологической оснастки.

Основной групповой технологии является применение передовых технологических процессов, высокопроизводительных оборудования и оснастки. Этого достигают увеличением размеров партии обрабатываемых деталей благодаря:

1) конструктивной унификации деталей и узлов, осуществляемой в стадии разработки чертежей;

2) применению унифицированных технологических процессов обработки и оснастки.

Оба пути дополняют друг друга. Важно отметить, что групповая технология охватывает не только процессы изготовления деталей, но и сборочные, и практически любые технологические процессы.

Типовые технологические процессы в судостроении применяются при изготовлении деталей корпуса и сборке и сварке узлов и секций, стапельной сборке, а также при некоторых видах монтажных работ. Разумеется, выбор типового или единичного технологического процесса в свою очередь определяется конструкцией изделия и примененным для его изготовления материалом.

В конкретных условиях конструкция, как говорят, может быть более или менее технологичной. Конструктор, разрабатывая проект изделия, сразу придумывает, как его будут изготавливать. В необходимых случаях он выполняет технологические расчеты (расчеты точности, ожидаемого изменения свойств и др.) наряду с обычными расчетами прочности, функциональной пригодности и др.

**Технологичность** конструкции изделия называют совокупность ее свойств, позволяющих при технической подготовке производства, изготовлении изделия, его эксплуатации и ремонте обеспечить заданные показатели качества при наименьших затратах труда, средств, материалов и времени. В настоящее время еще нет единой методики, по которой можно определить и проверить показатели технологичности, но разработка соответствующих критериев производится в том числе и в судостроении. Одной из ее характеристик является трудоемкость.

Трудоемкость постройки судна, а также отдельных работ (изготовление деталей, сборки секций, окраски корпуса и т. п.) определяют на основании отчетных данных по ранее построенным судам. По этим данным вычисляют удельные трудоемкости для отдельных видов работ, применяя так называемые натуральные измерители.

В качестве натуральных измерителей принимаются масса продукции в тоннах – для изготовления деталей и сборки корпусных конструкций; 1 кг шва наплавленного металла или 1 м<sup>2</sup> продольного сечения шва – для сварочных работ; поверхность, подлежащая окраске, м<sup>2</sup>, – для малярных работ и т. п. Если, например, удельная

трудоемкость изготовления 1 т деталей корпуса судна равнялась 8 н-ч, то при постройке судна с массой корпуса 900 т общая трудоемкость работ корпусообработывающего цеха составит 7200 н-ч.

Иногда удельные показатели корректируют, вводя устанавливаемые на основании опыта коэффициенты сложности.

Если для рассмотренного выше корпусообработывающего цеха удельная трудоемкость изготовления деталей судна со средней толщиной 10 мм составила 8 н-ч/т, то для намеченного к постройке нового судна со средней толщиной деталей 12 мм ее нужно откорректировать.

Масса деталей возрастет пропорционально толщине листов, трудоемкость же их изготовления увеличится незначительно, так как на разметку листов их толщина не влияет, на резку и гибку она влияет в незначительной степени. Оценив прирост трудоемкости в 5 % ( $\Delta T = 5\%$ ), можно определить коэффициент сложности для деталей нового судна:

$$K_{\text{н\ddot{e}}} = \frac{s_0}{s_1} \left( 1 + \frac{\Delta \dot{O}}{100} \right) = \frac{10}{12} \cdot 1,05 = 0,875,$$

где  $s_0$  и  $s_1$  – средняя толщина листов старого и нового судов.

Новая удельная трудоемкость составит

$$8 \cdot 0,875 = 7 \text{ н-ч/т.}$$

Определив трудоемкость какой-либо работы, можно установить и продолжительность ее выполнения:

$$t = \frac{T}{PK_{\text{н\ddot{e}}}},$$

где  $T$  – трудоемкость, н-ч;

$P$  – количество рабочих, выполняющих работу, чел.;

$K_{\text{в.н}}$  – коэффициент выполнения норм.

Расчет продолжительности необходим для взаимной увязки работ во времени. Кроме того, всегда стремятся к уменьшению продолжительности цикла выполнения каждой работы и постройки

судна в целом, так как это способствует более интенсивному использованию оборудования и производственной площади и ускорению оборачиваемости средств.

### 1.3. Экономическая оценка технологических процессов

Оптимальным считается такой технологический процесс, который обеспечивает удовлетворительное качество изделия при минимальной его стоимости. Поэтому выбор технологического процесса обычно производится на основании экономического сопоставления различных вариантов технологии.

Производственную себестоимость изделия  $C$  обычно определяют путем составления калькуляции, в которую входит стоимость всех материалов и комплектующих изделий  $M$ , основная заработная плата производственных рабочих  $Z$ , накладные цеховые расходы  $N_{ц}$  и накладные заводские расходы  $N_з$  (в процентах от заработной платы  $Z$ ):

$$\tilde{N} = \dot{I} + \zeta \left( 1 + \frac{\dot{I}_{\ddot{o}} + \dot{I}_{\zeta}}{100} \right), \text{ руб.} \quad (1.1)$$

Зарплата  $Z$  рассчитывается на основе определения трудоемкости:

$$\zeta = \sum_1^n T_i s_i, \text{ руб.},$$

где  $T_i$  – трудоемкость  $i$ -й операции, н-ч;

$s_i$  – часовая тарифная ставка для  $i$ -й операции, руб./н-ч;

$n$  – количество операций, по которым рассчитывается заработная плата.

Накладные цеховые расходы  $N_{ц}$  представляют собой все затраты цеха за вычетом заработной платы производственных рабочих и стоимости материалов (расходы на содержание зданий и оборудования, транспортные расходы; зарплата административного персонала, вспомогательных рабочих и т. п.). Аналогичные расходы по заводу составляют накладные заводские расходы  $N_з$ . Накладные расходы определяются по результатам деятельности предприятия в предшествующий календарный период времени, как правило, за истекший год.

Для сопоставления вариантов технологических процессов формула (1.1) неудачна, так как завышает эффект от снижения трудоемкости. Многие затраты, входящие в накладные расходы, в действительности при разных технологических процессах не изменяются. Кроме того, формула не учитывает расходов на содержание и эксплуатацию оборудования, непосредственно используемого в рассматриваемом технологическом процессе. Поэтому при сопоставлении технологических процессов обычно пользуются *технологической себестоимостью*  $C_T$ , определяемой по формуле

$$\tilde{N}_\delta = \hat{I} + \zeta(1 + \delta) + \hat{I} + \hat{E} + \hat{Y}_\delta + \hat{I}_\delta, \quad (1.2)$$

где  $M$ ,  $Z$  имеют те же значения, что и в формуле (1.1);

$\delta$  – дополнительная заработная плата производственных рабочих и отчисления на социальное страхование, равные в сумме приблизительно 34 % [2];

$O$  – расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, включая амортизационные отчисления;

$I$  – расходы на износ инструментов и приспособлений целевого назначения;

$\mathcal{E}_T$  – стоимость энергии, расходуемой по конкретному технологическому процессу;

$M_T$  – стоимость технологических материалов, т. е. материалов, не входящих в законченное изделие, но необходимых для осуществления данного технологического процесса (смазочные материалы, лесоматериалы для постройки лесов, газы для резки и сварки и т. д.).

Таким образом, в формулу (1.2) входят затраты, непосредственно зависящие от технологического процесса. Технологическую себестоимость обычно определяют для годовой программы выпуска продукции. Технологическая себестоимость единицы продукции при годовом выпуске  $Q$  изделий будет

$$\tilde{N}_\delta = \hat{A}_1 + \frac{\hat{A}_2}{Q}, \text{ руб./шт.},$$

где  $A_1 = M + M_T + 3(1 + \delta) + \Xi_T$ ;

$A_2 = O + И$ .

Сравнивая себестоимость двух вариантов технологического процесса (обозначаемых одним и двумя штрихами), для одинакового годового выпуска  $Q$  имеем

$$\tilde{N}_\delta Q = A'_1 Q + A'_2 ;$$

$$\tilde{N}_\delta Q = A''_1 Q + A''_2 .$$

На рис. 1.3 показаны области оптимального применения каждого из вариантов.

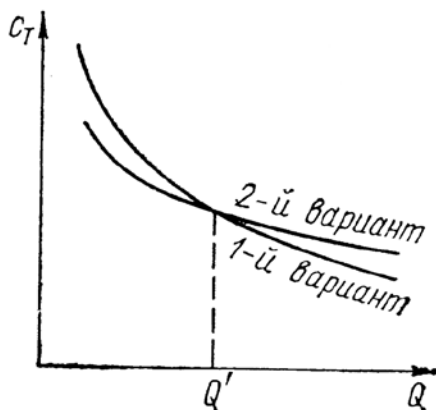


Рис. 1.3. Сравнение технологической себестоимости изделия при двух вариантах технологического процесса

При  $Q > Q'$  экономичен первый вариант, при  $Q < Q'$  — второй.

Однако снижение технологической себестоимости не всегда может служить основанием для применения новой технологии. Как правило, освоение новых процессов требует дополнительных капитальных затрат на приобретение новых станков, подъемно-транспортного оборудования, постройку поточных линий, а иногда и новых зданий и т. п. Нужно оценить, выгодны ли предусматриваемые технологией капитальные вложения. Для оценки служит нормативный коэффициент эффектив-

ности капитальных вложений  $E_n$ , который для судостроения принимается равным 0,15. Другими словами, каждый рубль капитальных вложений должен за год принести не менее 15 коп. прибыли. Отсюда предельный срок окупаемости капитальных вложений

$$\dot{O}_{1\dot{\epsilon}:\dot{\delta}} = \frac{1}{\dot{A}_1} \approx 6,7 \text{ года.} \quad (1.3)$$

Срок окупаемости любого мероприятия, связанного с необходимостью дополнительных капиталовложений (годы), определяется по формуле

$$\dot{O}_{1\dot{\epsilon}} = \frac{K_2 - K_1}{\tilde{N}_{\delta 1} - \tilde{N}_{\delta 2}} = \frac{\Delta K}{\Delta \tilde{N}_{\delta}},$$

где  $K_1$  – стоимость основных фондов действующего производства;

$K_2$  – стоимость основных фондов с учетом осуществления намеченного мероприятия;

$C_{т1}$  – существующая технологическая себестоимость годового объема продукции;

$C_{т2}$  – технологическая себестоимость после внедрения нового мероприятия.

Если определенный по формуле (1.3) срок окупаемости меньше 6,7 года, мероприятие считается выгодным. Исключением являются мероприятия, направленные на устранение тяжелого физического труда и улучшение условий работы. В этих случаях экономические соображения отходят на второй план, уступая место социальным.

Годовой экономический эффект от внедрения новых технологических процессов определяется по формуле

$$\dot{Y} = (\tilde{N}_{\delta 1} - \tilde{N}_{\delta 2}) - \dot{A}_1 (K_2 - K_1),$$

в которой учитывается как снижение себестоимости изделий, так и размер дополнительных капитальных вложений, необходимых для реализации запроектированной технологии.

#### 1.4. Качество и точность изготовления конструкций в судостроении

Качество судна, как и любого изделия, складывается из многих составляющих. Помимо таких очевидных свойств, как грузоподъемность, скорость, мореходные качества (остойчивость, непотопляемость, управляемость и пр.), в понятие качества входят надежность, долговечность, ремонтпригодность и т. п. Каждое из них отражается на экономичности эксплуатации судна. Повышение качества выпускаемых судов является одной из важнейших задач, стоящих перед судостроением.

Качество продукции будет высоким только тогда, когда высоко качество модели (т. е. качество проектных решений) и качество изготовления. Однако достижение во всех случаях наивысшего возможного при данном уровне техники и технологии качества обычно экономически невыгодно. Например, можно повысить долговечность корпуса судна, применив высоколегированные нержавеющие стали; можно улучшить точность деталей корпуса, обрабатывая их по контуру на фрезерных и строгальных станках. Но при этом долговечность корпуса окажется излишней, а точность деталей – экономически не оправданной. Поэтому корпуса транспортных судов изготавливают из углеродистой и малолегированной стали и для вырезки деталей применяют тепловую резку. Качество продукции должно быть оптимальным, причем как критерий обычно используют экономические соображения. Другими словами, продукция должна иметь хорошее качество, но не быть слишком дорогой. Обеспечение требуемого качества судов при минимальной стоимости их постройки и является основной задачей технологии судостроения.

Требования к качеству судов и отдельных судовых конструкций устанавливаются нормативной документацией (правилами БИРР, государственными и отраслевыми стандартами, техническими условиями, техническими требованиями в чертежах и т. п.). Требования к качеству продукции всегда содержат определенный разброс каждого из задаваемых параметров, ограниченный верхним и нижним пределами. Интервал значений параметра, ограниченный этими пределами, называется *допустимым отклонением* или просто *допуском*.



Наряду с допустимыми отклонениями в изделиях могут встречаться дефекты, т. е. несоответствия требованиям, установленным технической документацией, приводящие к ухудшению качества или к невозможности нормальной эксплуатации этих изделий, например, трещины в стальных конструкциях, наличие непроваров в сварных швах, потеки на окрашенной поверхности, а также выход формы и размеров деталей и конструкций за установленные пределы, так называемые геометрические погрешности.

Геометрические погрешности могут отрицательно сказываться на мореходных качествах судна, например, уменьшать его скорость, понижать прочность конструкций, в частности при искривлении стоек или смещении связей, также могут ухудшать внешний вид конструкций.

Значительное влияние геометрические погрешности оказывают на трудоемкость сборки корпусных конструкций. Поле допуска на величину сварочного зазора обычно составляет 1–2 мм. Максимальная его величина 4 мм (при автоматической сварке на флюсовой подушке); минимальная 0,3 мм (при стыковой сварке малых толщин). Подгонка деталей и конструкций друг к другу с указанной точностью занимает значительную долю сборочных работ. Поэтому повышение точности изготовления корпусных деталей и конструкций является важной задачей судостроительного производства.

Причины возникновения геометрических погрешностей деталей и конструкций многочисленны. Основные из них следующие:

1. Неточность исходной информации. При выполнении графических построений для определения размеров деталей и конструкций по плазовой разбивке имеют место некоторые погрешности.

2. Погрешность средств и методов измерения (метрологические). Измерение и откладывание размеров производится с помощью рулеток, метров, шаблонов, отвесов и прочих устройств, имеющих значительные погрешности.

3. Погрешности технологических операций. Каждая операция изготовления деталей (разметка, резка, гибка) и сборки конструкций выполняется с определенной точностью, т. е. вносит погрешности в размеры, форму и взаимное расположение деталей и конструкций.

4. Погрешности оборудования и оснастки. К ним следует отнести, например, отклонение поверхности сборочного стенда от плоскости, неточность установки опорных устройств на ступеле и т. п.

5. Погрешности, вызываемые усадкой сварных швов (сварочные деформации). Эти погрешности, если не принять специальных мер по их уменьшению, могут привести к браку корпусных конструкций.

Принципиальная зависимость между точностью изготовления деталей и их себестоимостью приведена на рис. 1.4. Высокая точность соответствует значительным затратам на обработку. По мере понижения требований к точности обработки затраты, а следовательно, и себестоимость снижаются (кривая 1). Предположим, что нужно отрезать от полосы деталь заданной длины, например  $3000 \pm \delta$ . Если  $\delta = 0,1$  мм, то необходимо применять специальную измерительную оснастку, резку производить на точном фрезерном станке, поддерживать в помещении постоянную температуру. При  $\delta = 1$  мм нужно выполнять весьма тщательную разметку длины детали, учитывая погрешность шкалы рулетки, ее натяжение и температуру. Если  $\delta = 5$  мм, то деталь может быть размечена по любой рулетке и обрезана газом вручную. Дальнейшее расширение поля допуска, например до 10 мм, не изменяет технологии разметки и резки и весьма незначительно сказывается на себестоимости этих операций.

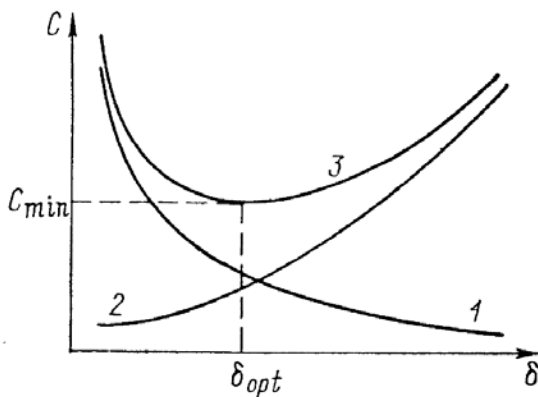


Рис. 1.4. Определение оптимальной точности изготовления деталей:  
1 – себестоимость операций изготовления деталей; 2 – себестоимость сборочных операций; 3 – результирующая кривая себестоимости;  
 $\delta$  – величина допуска;  $\delta_{opt}$  – оптимальный допуск;  $C$  – себестоимость, руб.

Однако оценка требуемой точности деталей только по операциям обработки является односторонней. Необходимо учитывать влияние точности деталей на себестоимость сборочных операций, которая характеризуется кривой 2. Наименьшая себестоимость изготовления изделия (или его части) определяется минимумом результирующей кривой 3.

Установление оптимальной точности для каждого конкретного случая является весьма сложной задачей. Все технологические процессы, как и подавляющее большинство жизненных явлений, задаются неоднозначно и могут быть описаны только с позиций теории вероятностей, в которой результаты каждого конкретного действия (измерения величины, откладывания размера, погрешности резки) рассматриваются как случайные величины. Поэтому в каждом конкретном случае должны быть определены объективно существующие вид закона распределения данной случайной величины, математическое ожидание  $M$  и дисперсия  $D(x)$ . Дисперсия часто заменяется *средним квадратическим отклонением*

$$\sigma = \sqrt{D(x)}.$$

Погрешности размеров деталей и конструкций обычно следуют закону нормального распределения (Гаусса), выражаемому уравнением

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $x$  может принимать значения от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Математическое ожидание определяется как

$$M = \sum x_i / n,$$

а среднее квадратическое отклонение (СКВО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1}},$$

где  $\sum x_i$  – алгебраическая сумма наблюдаемых величин;  
 $n$  – число наблюдений.

Основные условия, при которых случайная величина следует закону нормального распределения, состоят, как известно, в том, что на нее оказывает влияние значительное количество случайных факторов, причем все случайные факторы взаимно независимы, а степень их влияния на рассматриваемую величину приблизительно одинакова.

В ряде случаев для существенно положительных величин, какими являются, например, сварочный зазор, отклонение кромки детали от прямой линии и т. п., действует закон эксцентриситета (Максвелла):

$$\varphi(x) = \frac{\pi}{2M^2} x e^{-\frac{\pi}{4M^2} x^2},$$

где  $0 < x < +\infty$ .

Встречаются величины, следующие другим законам распределения. В дальнейшем изложении будет рассматриваться только закон нормального распределения погрешностей.

Допускаемые отклонения размеров от номинальных могут назначаться из соображений обеспечения функционального назначения узла, конструкции или изделия. Эти допуски назначаются конструкторами. Иногда их в просторечии называют «допуски, как нужно». Другой вид допусков носит название «допуски, как можно». При этом имеются в виду допуски, достигаемые при экономичном ведении технологического процесса. Они назначаются технологами на основании установленных законов распределения погрешностей при определенной технологии. В конечном счете конструктивные допуски должны быть обеспечены принятой технологией.

Предельные размеры  $x_1$  и  $x_2$  рассматриваемой случайной величины  $x$  (рис. 1.5) обычно выбирают так, чтобы

$$\int_{-\infty}^{x_1} \varphi(x) dx = \int_{x_2}^{\infty} \varphi(x) dx = 0,00135.$$

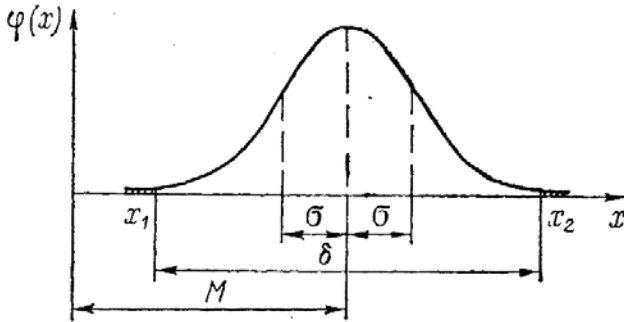


Рис. 1.5. График дифференциальной функции распределения  $\varphi(x)$  случайной величины

При этом для закона нормального распределения поле допуска

$$\delta = 6\sigma.$$

Вероятность того, что действительный размер окажется между  $x_1$ , и  $x_2$ , т. е. попадет в поле допуска, составляет 0,9973 и обычно считается равной единице. Необходимо, однако, помнить, что назначение допуска, равного  $6\sigma$ , все-таки не гарантирует получения 100 % размеров в указанных пределах. Грубые промахи, приводящие к отклонениям, превышающим расчетные, всегда возможны. Недаром величина  $x$  теоретически может изменяться от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Вероятность того, что фактический размер выйдет за пределы допуска, называется **процентом риска**. Эта величина равна площади, заключенной между кривой  $\varphi(x)$  и осью абсцисс вне участка этой оси, равного  $\delta$ , т. е. площади, заштрихованной на рис. 1.5, выраженной в процентах от всей площади под кривой  $\varphi(x)$ , которая всегда равна единице.

Процент риска зависит от соотношения  $t$  между СКВО и выбранной величиной поля допуска, которое называется коэффициентом риска. Эта зависимость приведена ниже.

Коэффициент риска

$$t = \frac{\delta}{2} : \sigma . . . . . 1,00 \ 1,65 \ 2,00 \ 2,57 \ 3,00 \ 3,29 \ 3,89.$$

Процент риска

$$P . . . . . 32 \ 10 \ 4,5 \ 1,0 \ 0,27 \ 0,10 \ 0,01.$$

Необходимо помнить, что найденные опытным путем значения математического ожидания и СКВО случайных величин сами являются случайными величинами и что выборка, по которой они определены, не полностью совпадает с генеральной совокупностью. При более точном исследовании следует оценивать величину возможного расхождения параметров выборки и генеральной совокупности.

Кроме случайных факторов в конкретном технологическом процессе могут действовать постоянные факторы, вызывающие возникновение *систематических погрешностей*. Например, неточность нанесения штрихов шкалы рулетки вносит систематическую погрешность в размеры деталей. Все детали, размеченные по конкретной рулетке, окажутся в среднем длиннее или короче истинных (в зависимости от характера погрешности рулетки). Таким образом, систематические погрешности в каждой серии опытов влияют на величину математического ожидания, не оказывая воздействия на среднее квадратическое отклонение, которое определяется случайными факторами. Необходимо, однако, учитывать, что погрешности, выступающие в одной серии опытов в качестве систематических, в другой могут проявляться как случайные. Погрешности шкалы рулетки, систематические при измерениях одной рулеткой, окажутся случайными, если речь будет идти о точности разметки с помощью рулеток вообще, т. е. о множестве рулеток. В этом случае погрешность нанесения шкалы рулеток будет влиять на величину среднего квадратического отклонения размеров.

Систематические погрешности могут быть постоянными и изменяющимися во времени или при изменении внешних условий.

Систематические погрешности обычно стремятся выявлять и исключать из результатов измерения. Так, например, погрешность, вызываемая неточностью шкалы рулетки, может быть исключена, если составить таблицу поправок к показаниям рулетки и производить измерения с учетом этих поправок.

В судостроении применяются рулетки типа РЗ по ГОСТ 7502–69 с миллиметровыми делениями по всей длине. Допускаемые отклонения действительной длины шкал этих рулеток от номинального значения при комнатной температуре и нормальном натяжении составляют для 2-го класса 1 мм при длине 5 м и 5 мм при длине 50 м. Для рулеток 3-го класса погрешности возрастают до 2 и 7 мм соответственно.

На точность измерений рулетками помимо погрешностей шкалы  $\Pi_{ш}$  влияют погрешность натяжения ленты  $\Pi_{н}$ , температурная погрешность  $\Pi_{т}$  и погрешность отсчета размера  $\Pi_{о}$ . Погрешность натяжения ленты выражается формулой

$$\ddot{\Pi}_i = \frac{l\Delta P}{EF}, \text{ мм,}$$

где  $l$  – измеряемая длина, мм;

$\Delta P$  – разность между фактическим и нормальным натяжениями рулетки, Н;

$E$  – модуль упругости материала ленты, Па (для стальных рулеток  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па);

$F$  – площадь поперечного сечения ленты, мм<sup>2</sup> (обычно около 2 мм<sup>2</sup>).

Температурная погрешность

$$\ddot{\Pi}_o = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты линейного расширения измеряемого объекта и ленты рулетки соответственно;

$\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  – отклонения от нормальной температуры измеряемого объекта и ленты рулетки соответственно.

Значение  $\Pi_{о}$  зависит от квалификации разметчика и определяется опытным путем.

Общая погрешность измерения рулетками  $\Pi$  определяется по формуле

$$\ddot{\Pi} = \sqrt{\ddot{\Pi}_{\varnothing}^2 + \ddot{\Pi}_f^2 + \ddot{\Pi}_{\delta}^2 + \ddot{\Pi}_i^2}.$$

Исследованием при определенных условиях были установлены следующие значения погрешностей для рулеток длиной 10 м:  $\Pi_n = \pm 1,25$  мм,  $\Pi_T = \pm 0,8$  мм,  $\Pi_o = \pm 1,0$  мм,  $\Pi_{ш} = \pm 2,5$  мм.

Тогда для десятиметровых рулеток третьего класса

$$\ddot{\Pi} = \pm \sqrt{2,5^2 + 1,25^2 + 0,8^2 + 1,0^2} = \pm 3,1 \text{ мм}.$$

Для рулеток 2-го класса, у которых  $\Pi_{ш} = 1$  мм:

$$\ddot{\Pi} = \pm \sqrt{1,0^2 + 1,25^2 + 0,8^2 + 1,0^2} = \pm 2,1 \text{ мм}.$$

Более строго складывать не предельные значения погрешностей, а дисперсии их законов распределения

$$D(x)_i = \sigma_i^2.$$

Отклонения (погрешности) формы деталей и конструкций подразделяются на отклонение кромок и отклонение поверхностей. Непрямолинейность кромки детали или конструкции измеряется наибольшим расстоянием от прилегающей прямой до кромки. Прилегающая прямая материализуется в виде линейки, струны, нити, световой линии и т. п. Отклонение реального криволинейного контура измеряется от рабочего контура шаблона.

Неплоскостность поверхности оценивается ее максимальным отклонением от прилегающей плоскости, а для криволинейной поверхности измеряются отклонения от шаблона или от опорной постели.

Для относительно гибких листов нас более интересуют местные отклонения от плоскости (бухтины), чем отклонение листа в целом. Бухтиноватость обычно оценивается стрелкой прогиба листа  $f$  на длине  $l$  (рис. 1.6). Существуют специальные приборы для замера бухтин – бухтиномеры.



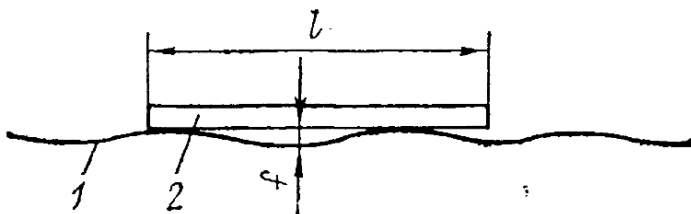


Рис. 1.6 – Изменение местной неровности (бухтиноватости):  
1 – сечение листа; 2 – линейка

**Отклонение (погрешность) расположения** деталей и конструкций представляет собой отклонение от номинального положения поверхности (или ее оси) относительно базы или относительно других поверхностей. Примерами отклонения расположения могут служить непараллельность плоскостей друг другу, неперпендикулярность осей, несимметричность бортовых секций судна относительно диаметральной плоскости (ДП) и т. п.

**Базой** называется совокупность поверхностей, линий и точек, по отношению к которым определяется расположение рассматриваемой линии или поверхности. При постройке судна основной базой является система, образованная основной плоскостью (ОП), диаметральной плоскостью (ДП) и плоскостью мидель-шпангоута (ПМШ). Кроме основной в процессе изготовления деталей и конструкций применяются технологические базы. В качестве технологических баз могут служить поверхность сборочной плиты, лекала сборочной постели, риски, нанесенные на секции и используемые для правильной установки ее на стапеле, и т. п.

Выбирая **системы базирования**, стремятся соблюдать принцип единства баз, т. е. при изготовлении конструкции в основном пользуются базами, указанными в чертежах (конструктивными), вводя технологические базы лишь при необходимости.

Для оценки ожидаемой точности изготовления деталей и конструкций выполняют расчет размерных цепей.

**Размерной цепью** называется последовательность всех независимых размеров, расположенных по замкнутому контуру и оказывающих непосредственное влияние на точность замыкающего звена.

Замыкающим является звено, связывающее поверхности и оси, расстояние между которыми нужно обеспечить или измерить, т. е. звено, для которого ведется расчет размерной цепи.

Размерные цепи подразделяются на плоские, в которых все звенья лежат в одной плоскости (или в нескольких параллельных плоскостях), и пространственные. Плоские размерные цепи с параллельными звеньями иногда называют линейными.

Любая размерная цепь может быть превращена в систему линейных путем проектирования всех звеньев на оси выбранной системы координат. Например, четырехзвенная пространственная размерная цепь (рис. 1.7) может быть превращена в три линейные:

$$A_{\Delta x} = A_1 \cos \alpha_1 + a_2 \cos \alpha_2 + A_3 \cos \alpha_3;$$

$$A_{\Delta y} = A_1 \cos \beta_1 + a_2 \cos \beta_2 + A_3 \cos \beta_3;$$

$$A_{\Delta z} = A_1 \cos \gamma_1 + a_2 \cos \gamma_2 + A_3 \cos \gamma_3$$

( $\cos \alpha_i$ ;  $\cos \beta_i$ ;  $\cos \gamma_i$ , – направляющие косинусы каждого звена), из которых на рисунке показана только первая. Поэтому все дальнейшее изложение относится к плоским цепям с параллельными звеньями.

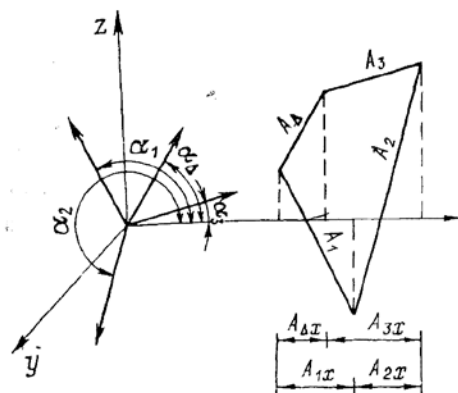


Рис. 1.7. Схема перевода пространственной размерной цепи в систему плоских цепей с параллельными звеньями

Определим возможные размеры замыкающего звена  $B_{\Delta}$  размерной цепи, приведенной на рис. 1.8, т. е. величины зазора между торцом ребра жесткости и плоскостью шпангоута при стыковании двух секций. Обозначим звенья размерной цепи:

$B_1 + \delta_1$  – расстояние от шпангоута до кромки полотнища;

$A_2 \pm \frac{\delta_2}{2}$  – зазор между кромками двух полотнищ;

$A_3 \pm \frac{\delta_3}{2}$  – усадка полотнища в результате сварки;

$B_4 - \delta_4$  – выход ребра жесткости за кромку полотнища,

где  $B_1, B_2, B_3, B_4$  – номинальные размеры звеньев;

$\delta_1; \delta_2, \delta_3, \delta_4$  – допускаемые отклонения этих размеров.

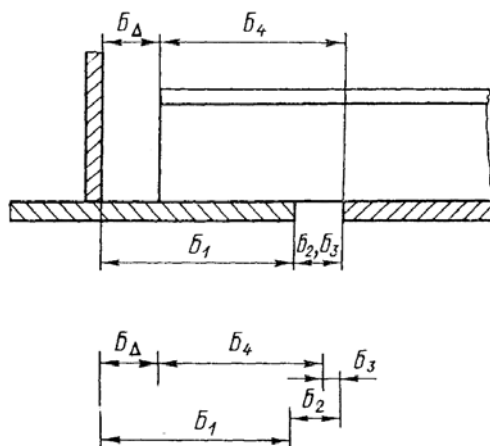


Рис. 1.8. Пример плоской размерной цепи с параллельными звеньями

Номинальный размер замыкающего звена будет равен алгебраической сумме размеров звеньев цепи:

$$B_{\Delta \text{ном}} = B_1 + B_2 - B_3 - B_4 = \sum_1^{m-1} A_i,$$

где  $m$  – количество звеньев размерной цепи.

Для определения допуска замыкающего звена найдем наименьший  $B_{\Delta\min}$  и наибольший  $B_{\Delta\max}$  размеры замыкающего звена.  $B_{\Delta\min}$  будет равно сумме наименьших размеров увеличивающих звеньев  $B_1$  и  $B_2$  и наибольших размеров уменьшающих звеньев  $B_3$  и  $B_4$ , т. е.

$$\dot{A}_{\Delta\min} = \dot{A}_1 + \left( \dot{A}_2 - \frac{\delta_2}{2} \right) - \left( \dot{A}_3 + \frac{\delta_3}{2} \right) - \dot{A}_4.$$

Для нахождения  $B_{\Delta\max}$ , наоборот, берем максимальные размеры увеличивающих звеньев и минимальные – уменьшающих:

$$\dot{A}_{\Delta\max} = (\dot{A}_1 + \delta_1) + \left( \dot{A}_2 + \frac{\delta_2}{2} \right) - \left( \dot{A}_3 - \frac{\delta_3}{2} \right) - (\dot{A}_4 - \delta_4).$$

Допуск замыкающего звена

$$\begin{aligned} \delta_{\Delta} &= \dot{A}_{\Delta\max} - \dot{A}_{\Delta\min} = \dot{A}_1 + \delta_1 + \dot{A}_2 \frac{\delta_2}{2} - \dot{A}_3 + \frac{\delta_3}{2} - \\ &- \dot{A}_4 + \delta_4 - \dot{A}_1 - \dot{A}_2 + \frac{\delta_2}{2} + \dot{A}_3 + \frac{\delta_3}{2} + \dot{A}_4 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 = \sum_1^{m-1} |\delta_i|. \end{aligned}$$

Таким образом, независимо от расположения полей допусков звеньев размерной цепи допуск замыкающего звена равен сумме абсолютных величин допусков всех составляющих звеньев. При одинаковых допусках всех звеньев, равных  $\delta_{\text{ср}}$ :

$$\delta_{\Delta} = (m - 1) \delta_{\text{ср}}.$$

Чаще, однако, решают противоположную задачу: по выбранной величине  $\delta_{\Delta}$  определяют допуски звеньев цепи. Математически эта задача имеет бесконечное число решений, так как для определения  $m - 1$  неизвестных величин имеется лишь одно уравнение размерной цепи. Поэтому вначале определяют допуски, считая их равными для всех звеньев:

$$\delta_{\text{cp}} = \delta_{\Delta}/(m - 1),$$

а затем полученную величину корректируют, исходя из экономической оправданной точности получения каждого звена.

Описанный метод решения размерных цепей получил название **метода максимума-минимума**. Он прост, нагляден и обеспечивает вполне надежные результаты. Однако наиболее неблагоприятное сочетание размеров, на котором основан метод максимума-минимума, маловероятно. Принято считать, что этот метод дает завышенную величину погрешностей замыкающего звена и неоправданно ужесточает требования к точности звеньев размерной цепи. Поэтому часто пользуются правилом теории вероятностей о квадратичном сложении средних квадратических отклонений независимых случайных величин:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_{m-1}^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i^2,$$

откуда

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i^2}. \quad (1.4)$$

Если принять

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_{m-1} = \sigma_{\text{cp}},$$

то

$$\sigma_{\Delta} = \sigma_{\text{cp}} \sqrt{m-1} \quad \text{и} \quad \delta_{\Delta} = \delta_{\text{cp}} \sqrt{m-1},$$

т. е. допуск замыкающего звена будет в  $\sqrt{m-1}$  раз меньше, чем при расчете предыдущим методом. Определяя среднюю величину допуска звеньев размерной цепи  $\delta_{\text{cp}}$  по заданному допуску замыкающего звена, получаем

$$\delta_{\text{нб}} = \frac{\delta_{\Delta}}{\sqrt{m-1}},$$

т. е. этот допуск будет в  $\sqrt{m-1}$  раз больше, чем при предыдущем расчете. Разница в результатах расчетов по методам максимума-минимума и вероятностному тем значительнее, чем больше звеньев содержится в размерной цепи.

Определим  $\delta_{\text{ср}}$  более точно, с учетом ожидаемого процента риска. Для этого выразим СКВО через коэффициент риска каждого звена  $t_i$  и допуск  $\delta_i$ :

$$\sigma_i = \delta_i/2t_i.$$

Подставим полученное выражение в уравнение (1.4):

$$\frac{\delta_{\Delta}^2}{4t^2} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_i^2}{4t_i^2}.$$

Разделив правую и левую части на 4 и обозначив  $1/t_i^2$  через  $\lambda'_i$  (коэффициент относительного рассеяния), получим

$$\frac{\delta_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^{m-1} \lambda'_i \delta_i^2.$$

Приняв, как и раньше, допуск для всех звеньев одинаковым ( $\delta_{\text{ср}}$ ), получаем для него выражение

$$\delta_{\text{нб}} = \frac{\delta_{\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\lambda'_i (m-1)}}.$$

Рекомендуется принимать следующие значения  $\lambda'_i$ :

$\lambda'_i = 1/9$ , если предполагается, что закон распределения близок к нормальному;

$\lambda'_i = 1/6$ , если предполагается, что закон распределения близок к треугольнику;

$\lambda'_i = 1/3$ , если при расчете ничего не известно о характере закона распределения.

Таким образом, задавшись допуском замыкающего звена и коэффициентом риска, выбрав в зависимости от условий технологического процесса закон распределения погрешностей составляющих звеньев, можно определить среднее значение поля допуска звена размерной цепи.

Расчетное значение поля допуска замыкающего звена размерной цепи находится по формуле

$$\delta_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda'_i \delta_i^2}.$$

Середина координаты поля допуска  $\Delta_{\Sigma}$  определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta_{0i}} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overline{\Delta_i},$$

где  $\overline{\Delta_{0i}}$  – координата середины поля допуска увеличивающего звена размерной цепи;

$\overline{\Delta_i}$  – то же, но уменьшающего звена;

$n$  – количество увеличивающих звеньев.

В качестве примера проведем расчет размерной цепи, показанной на рис. 1.8. Зададимся следующими значениями допусков звеньев цепи:  $\delta_1 = +2$  мм,  $\delta_2 = \pm 2$  мм,  $\delta_3 = \pm 0,3$  мм,  $\delta_4 = -2$  мм, выберем  $t_{\Delta} = 3$  (процент риска будет равен 0,27) и будем считать, что погрешности звеньев следуют нормальному закону распределения ( $\lambda'_i = 1/9$ ):

$$\delta_{\Delta} = 3 \sqrt{\frac{1}{9} (2^2 + 4^2 + 0,6^2 + 2^2)} = 4,94 \approx 5.$$

Расчетный допуск на зазор между ребром жесткости и шпангоутом не гарантирует нормальных условий сварки этих деталей. Середина поля допуска замыкающего звена будет

$$\Delta_{0\Sigma} = (\Delta_{01} + \Delta_{02}) - (\Delta_{03} + \Delta_{04}) = (1+0) - (0-1) = 2 \text{ мм}.$$

Теперь определим средний допуск на звенья той же размерной цепи, установив  $\delta_{\Delta} = 2 \text{ мм}$ :

$$\delta_{\text{нд}} = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9}(5-1)}} = 1 \text{ мм}.$$

Требуемая для обеспечения нормальных условий сварки точность звеньев рассмотренной размерной цепи выше, чем реально достижимая при сборке корпусных конструкций. Допуск на звенья цепи можно расширить, увеличив допустимый процент риска. Если, например, вероятность получения погрешностей, превышающих принятые, принять равной 32 % ( $t = 1$ ), то средний допуск  $\delta_{\text{ср}}$  составит уже 3 мм, но тогда примерно треть всех сопряжений при сборке потребует пригонки. Тем не менее этим приемом, т. е. увеличением процента риска, широко пользуются на практике. По существу, в корпусостроении все допуски на детали и конструкции назначены с процентом риска, отличающимся от нуля.



## 2. ПЛАЗОВЫЕ РАБОТЫ

### 2.1. Плазовая разбивка судна

При проектировании судна теоретический чертеж выполняется в малом масштабе (от 1 : 25 до 1 : 100), так же как и рабочие чертежи корпусных конструкций. При этом точно задаются немногие размеры: главные размерения, шпация, размеры по мидельшпангоуту, расстояние между ватерлиниями, толщина листов и т. п. Большинство же размеров определяется обводами судна, т. е. задано графически. Естественно, что для изготовления деталей и конструкций корпуса необходимо знать их точные размеры. Между тем если чертеж выполнен в масштабе 1 : 100, то графическая погрешность на нем, составляющая 0,5 мм, на детали или конструкции выливается в ошибку, равную 50 мм. Поэтому возникает необходимость уточнения обводов судна. Это уточнение в течение длительного времени выполняли, вычерчивая теоретический чертеж судна в натуральную величину. Место, на котором вычерчивается натурная разбивка, называется *плазом*, сам чертеж – *плазовой разбивкой*, а работы, выполняемые на плазе, – *плазовыми работами*.

Плазом или плазоворазметочным бюро называют также производственный участок, выполняющий эти работы. Надо заметить, что в последние годы происходит постепенный переход от графических к математическим методам плазовых работ. В этом случае основная геометрическая информация в цех будет поступать прямо из конструкторского бюро, где разрабатывается проект судна. В настоящее время на большинстве заводов пока применяют масштабную плазовую разбивку, которая вычерчивается в масштабе 1 : 10 (иногда 1 : 5) с использованием высокоточного инструмента. Натурную разбивку теперь применяют лишь при постройке мелких судов.

Плазовые работы включают:

- 1) вычерчивание плазовой разбивки;
- 2) определение формы и размеров всех деталей корпуса, т. е. деталировку корпусных конструкций с вычерчиванием эскизов деталей или составлением таблиц размеров;
- 3) вычерчивание чертежей шаблонов и копирчертежей;

4) изготовление шаблонов, каркасов и макетов;

5) составление необходимых для сборки и проверки корпусных конструкций и корпуса в целом эскизов, таблиц, шаблонов и тому подобной информации.

Масштабная разбивка вычерчивается на щитах из дюралюминиевых листов толщиной 4–10 мм или на стальных листах толщиной 8–10 мм. Листы должны быть тщательно выправлены (отклонение от плоскости не более 1 мм на метр) и окрашены эмалевой краской белого или серо-голубого цвета, а после окраски отшлифованы мелкозернистой наждачной бумагой до получения гладкой матовой поверхности. Натурная разбивка выполняется на деревянном или фанерном полу, тщательно выровненном и выкрашенном масляной шаровой краской с голубым отливом. Главными преимуществами масштабной разбивки по сравнению с натурной являются снижение трудоемкости плазовых работ примерно в два раза, уменьшение требуемой площади в три–четыре раза, улучшение условий труда, так как при масштабной разбивке разметчики работают за столами, что значительно удобнее, чем работать на полу. Вместе с тем изготовление шаблонов при масштабной разбивке сложнее, чем при натурной.

Плазовая разбивка выполняется в трех проекциях – **бок**, **полуширота** и **корпус** (рис. 2.1, а). Для сокращения площади и уменьшения трудоемкости вычерчивания проекций «бок» и «полуширота» их всегда накладывают друг на друга (рис. 2.1, б). Иногда, кроме того, при натурной разбивке носовую часть судна накладывают на кормовую (рис. 2.1, в). Если подобного наложения не делают, то обычно исключают цилиндрическую вставку, предусматривая перекрой носовой и кормовой частей не менее 5 м. Иногда сокращают длину разбивки, уменьшая размер шпации (сокращают масштаб по длине). Проекцию «корпус» всегда вычерчивают полностью без каких-либо искажений. При этом носовую часть судна располагают на чертеже справа от ДП, кормовую – слева.

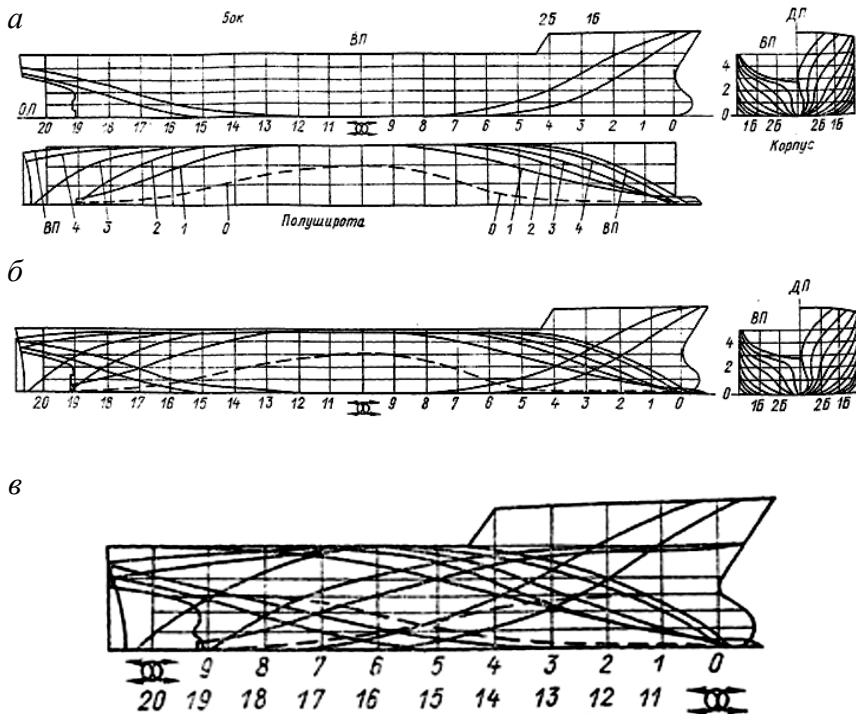


Рис. 2.1. Разбивка теоретического чертежа на плазе:  
*а* – наименование проекций; *б* – совмещение проекций «бок»  
и полуширота; *в* – наложение кормовой и носовой частей одну на другую  
ДП – диаметральной плоскости; ОЛ – основная линия;  
ВП – верхняя палуба; Б – батокс

Исходными данными для выполнения разбивки являются следующие документы, выпускаемые проектной организацией:

- теоретический чертеж корпуса и таблица ординат с поясняющими эскизами;
- чертеж – практический корпус;
- чертеж растяжки наружной обшивки;
- некоторые чертежи корпусных конструкций, в частности мидель-шпангоут, фор- и ахтерштевни.

При разработке эскизов дополнительно используется схема припусков на корпусные конструкции.

*Растяжка наружной обшивки* является условным чертежом, дающим представление о расположении стыков и пазов листов наружной обшивки и их положении относительно продольных и поперечных связей корпуса. При построении растяжки на каждом практическом шпангоуте последовательно откладывают расстояния от вертикального кия до соответствующего паза. Эти расстояния обычно снимают с блок-модели судна. *Блок-модель* – деревянная пространственная модель наружной поверхности корпуса, выполняемая в масштабе 1 : 100 или 1 : 50. Полученные точки соединяют плавными кривыми. Затем наносят стыки. Форма листов на растяжке получается условной. Аналогично пазам наносят положение продольных связей. Вычерчивают также флоры, шпангоуты и поперечные переборки.

## 2.2. Определение формы и размеров деталей корпуса

Форму и размеры деталей корпуса определяют в основном по проекции «корпус». Две другие проекции используются для уточнения размеров штевней, главных фундаментов и других сравнительно немногочисленных узлов, когда с проекции «корпус» нельзя снять все необходимые данные или когда их получение по этой проекции более затруднительно и дает меньшую точность. Кроме того, проекции «бок» и «полуширота» используются для выполнения вспомогательных построений.

Так как независимо от конечной формы все детали вырезаются из плоских листов или прямых профилей, то для гнутых деталей чертится форма плоской заготовки, т. е. *развертка*.

С точки зрения определения формы и размеров плоских заготовок все детали корпуса могут быть разбиты на пять групп:

1) детали, форма и размеры которых полностью заданы чертежом (прямоугольные листы настилов, не связанные с обводами судна, некоторые кницы, детали фундаментов, выгородок и т. п.);

2) плоские детали, расположенные в плоскостях шпангоутов и, следовательно, изображаемые на плазовом корпусе без искажения;

3) плоские детали, расположенные вдоль судна. Здесь следует различать два случая:

плоскость детали перпендикулярна ПМШ и, следовательно, деталь изображается на проекции «корпус» одной прямой линией;

плоскость детали наклонена к ПМШ; деталь изображается на проекции «корпус» несколькими параллельными прямыми – следами пересечения с плоскостью шпангоутов;

4) изогнутые детали, плоская заготовка которых получается путем разворачивания их на плоскость теоретически точными способами. Здесь различаются следующие детали:

– со сломом, т. е. состоящие из двух или большего количества плоских участков;

– цилиндрической формы;

– конической формы;

5) детали двойкой кривизны, в том числе и детали веерной формы, которые тоже разворачивают на плоскость, но приближенными методами, так как теоретически такие листы не разворачиваются.

Для каждой из перечисленных групп и подгрупп применяются специфические методы определения формы и размеров заготовок, за исключением деталей первой группы, на которые эскизы составляются общепринятыми методами по чертежам корпусных конструкций без обращения к плазовой разбивке.

Размеры деталей второй группы определяют непосредственным измерением расстояний между теоретическими линиями с учетом изложенных выше правил расположения толщины листов относительно теоретических линий. Так, например, длина флора, измеренная от ДП до обшивки, должна быть уменьшена на половину толщины вертикального кия. Кроме контуров детали по плазу определяют также расстояние между вырезами для прохода продольного набора, места шпигатов под сварные швы и т. п. По чертежу секции находят величину срезов в углах, расположение и размер вырезов облегчения, места и характер разделки кромок под сварку и т. п. Определение формы и размеров деталей любой группы, как правило, завершается составлением эскиза, который должен содержать все данные, необходимые для изготовления детали (рис. 2.2).

Эскизы вычерчивают без соблюдения масштаба, утрируя при этом особенности формы деталей, например слабоизогнутым линиям на эскизах придают значительную кривизну.

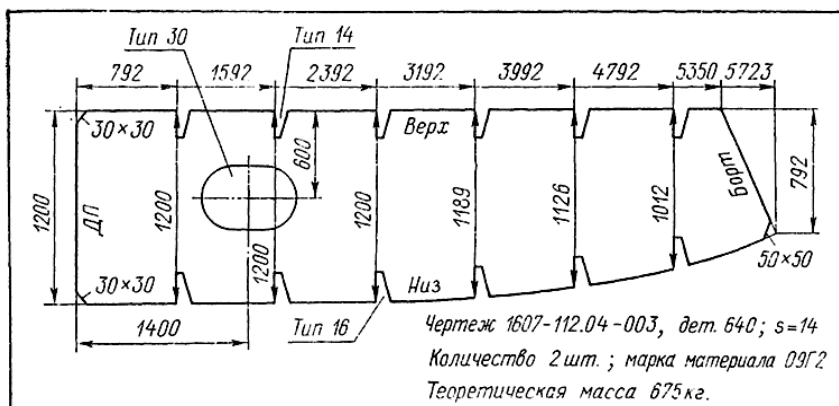


Рис. 2.2. Эскиз флора

Кроме размеров на эскизах наносят ориентирные надписи (верх, низ, нос, корма, борт, к ДП и т. д.), линии приварки набора, вид и размеры разделки кромок под сварку, расположение и размеры припусков. Для гнутых деталей приводят сечения, характеризующие форму и направление изгиба детали.

Также на эскизах надписывают марку материала, которая должна быть нанесена на детали, и маршрут обработки детали.

Иногда эскиз заменяется точным графическим изображением детали. Для этого контуры детали с масштабной разбивкой копируют на прозрачную пленку, которую затем используют в качестве шаблона при вычерчивании копирчертежей и чертежей-шаблонов.

Для нахождения размеров деталей третьей и последующих групп, расположенных вдоль судна, которые проецируются на плазовый корпус с искажением, нужно уметь определять длину продольных линий, которая называется **растяжкой**.

Пусть по наружной обшивке проходит кривая линия *ABC* (рис. 2.3, а), например паз листа наружной обшивки (НО). Эта линия на плазовом корпусе изображается кривой *abc* (рис. 2.3, б).

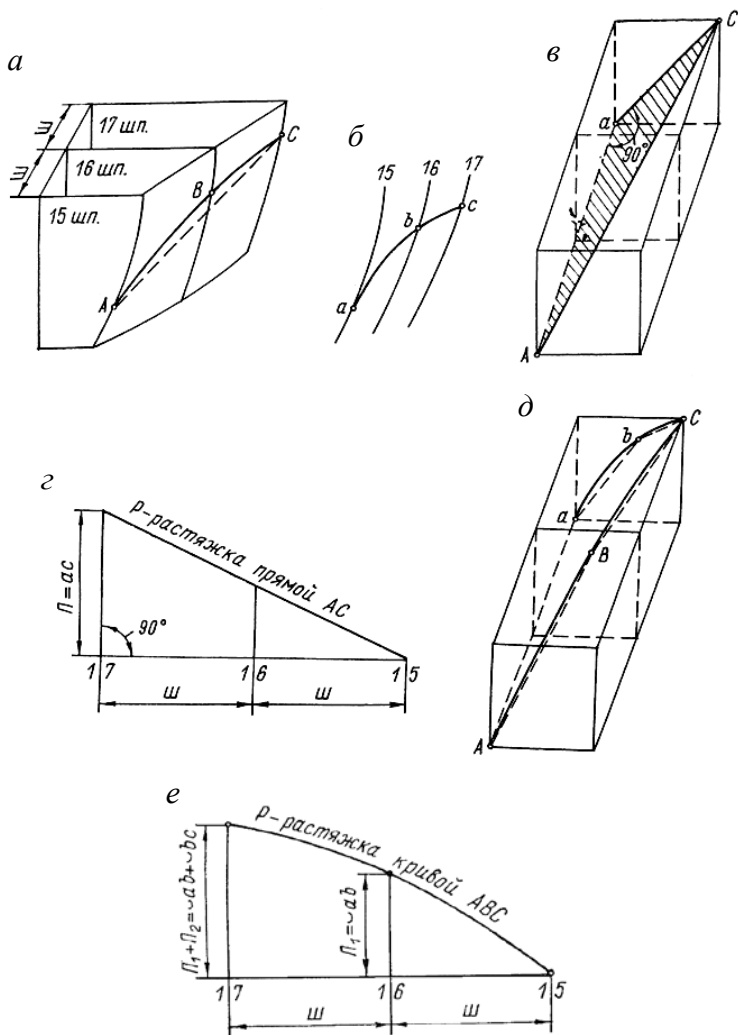


Рис. 2.3. Растяжка продольной линии

Определим сначала длину прямой  $AC$ . Для этого построим параллелепипед, торцевые стороны которого совпадают с плоскостями крайних шангуотов, а диагональ равна прямой  $AC$  (рис. 2.3, в). Прямая  $AC$  (рис. 2.3, г) будет равна гипотенузе

прямоугольного треугольника  $AaC$ , один катет которого будет равен сумме шпаций, а другой – проекции прямой  $AC$  на плоскость шпангоута ( $ac$ ), (см. рис. 2.3, в).

Для определения длины кривой  $ABC$  заменим ее вписанной ломаной (рис. 2.3, д). Соответственно и проекция ее на плоскости шпангоута будет ломаной линией  $abC$ . Каждый отрезок ломаной можно определить по вышеописанному способу, т. е. последовательно строя прямоугольные треугольники. Очевидно, что если количество звеньев ломаной будет увеличиваться, то разница между ее длиной и длиной кривой будет уменьшаться и может быть сделана сколь угодно малой. Одновременно будет уменьшаться разность длин проекции кривой и вписанной в нее ломаной на плазовом корпусе. В пределе они сольются. Следовательно, длину кривой линии можно определить, принимая в качестве одного из катетов спрямленную длину ее криволинейной проекции (ее называют прогрессом), а в качестве другого – расстояние между двумя параллельными плоскостями, в нашем примере – шпацию. Определив положение точек растяжки на каждом шпангоуте, их соединяют плавной кривой (рис. 2.3, е), длина которой и является искомой длиной пространственной линии, т. е. растяжкой.

Практически длину кривой на плазовом корпусе определяют огибая ее тонкой гибкой рейкой и измеряя затем расстояние между конечными точками кривой на распрямленной рейке.

Кривая растяжки обычно изогнута очень слабо, поэтому без заметной погрешности ее можно заменить в каждой шпации отрезком прямой, длина которого

$$P_i = \sqrt{\varnothing^2 + \ddot{I}_i^2}.$$

Для каждой шпации заранее составляют таблицы  $P = f(\Pi)$ , по которым, измерив прогресс, определяют величину растяжки.

Определение формы и размеров плоских деталей третьей группы рассмотрим на примере днищевое стрингера. Плоскость стрингера, показанного на рис. 2.4, наклонена к ДП, но перпендикулярна к ПМШ, так как на проекции «корпус» стрингер изображается одной линией. Построив по правилам начертательной геометрии проекцию стрингера на плоскость, перпендикулярную





проводят строевую линию, пересекающую под прямым углом линии сечения стрингера плоскостями шпангоутов (рис. 2.5, а). Угол между строевой и следами шпангоутов будет прямым и на развертке, так как согласно начертательной геометрии если одна из сторон прямого угла параллельна плоскости проекций, то он проецируется на эту плоскость без искажения.

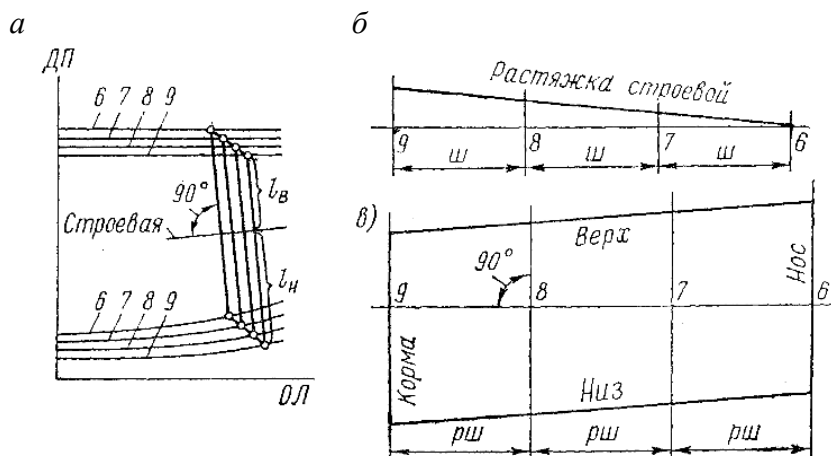


Рис. 2.5. Определение формы и размеров днищевого стрингера, наклоненного к ПМШ:  
 рш – растянутая шпация

Далее определяют истинную длину строевой, построив ее растяжку (рис. 2.5, б). Затем пробивают прямую линию, на которой откладывают растяжку строевой (рис. 2.5, в). Расстояния между шпангоутами на растяжке часто называют растянутой шпацией (рш). Проведя перпендикуляры к строевой, находят следы шпангоутов. На этих перпендикулярах откладывают расстояния от строевой до верхней и нижней точек стрингера, снятые с корпуса, как это показано на рисунке для девятого шпангоута. Соединив полученные точки плавной кривой, получают контур стрингера.

Детали четвертой группы непосредственно не могут быть совмещены с плоскостью. Для получения плоской заготовки подобных деталей их необходимо развернуть.

Рассмотрим развертку деталей, имеющих резкий изгиб по прямой линии, который принято называть *сломом*.

На верхней части рис. 2.6 изображена проекция участка килевой коробки. Пятка коробки горизонтальна, линия слома также горизонтальна и расположена под углом к ДП. Внизу приведена проекция килевой коробки на ОП. Пятка представляет собой трапецию ЕАБЖ, наклонная часть коробки – четырехугольник АВДБ, линия слома изображается прямой АБ. Если мысленно разгибать коробку до совмещения согнутой части с ОП, то пазовые точки В, Г и Д будут перемещаться в плоскостях, перпендикулярных линии слома АБ, т. е. по траектории, указанной на чертеже пунктиром, и придут в положение В', Г', Д'. Расстояние между точками А и В' на развертке будет равно длине участка седьмого шпангоута между ОП и пазом на пазовом корпусе. Указанных условий достаточно, чтобы однозначно определить конечное положение пазовой точки В'. Для других шпангоутов положение пазовых точек (Г' и Д') определяют аналогично. Соединяя пазовые точки с соответствующими точками линии слома, получают развертку килевой коробки, ограниченную контуром ЕАВ'Д'БЖ.

В описанном построении опущены два существенных момента: во-первых, не принималась во внимание толщина развертываемого листа, во-вторых, не учитывалось то обстоятельство, что при изгибе листа участки сопрягаются не под углом, а по цилиндрической поверхности. Оценим величину допущенной погрешности. На рис. 2.7 приведено реальное сечение изогнутого листа. Общая длина развертки по нейтральному слою, если пренебречь его смещением в сторону сжатых волокон:

$$l = a + \left( R + \frac{s}{2} \right) \varphi + b.$$

Для принятого ранее способа определения длины развертки

$$l = \hat{A}\hat{A} + \hat{A}\hat{A} = \hat{a} + 2R\text{tg} \frac{\varphi}{2} + b.$$

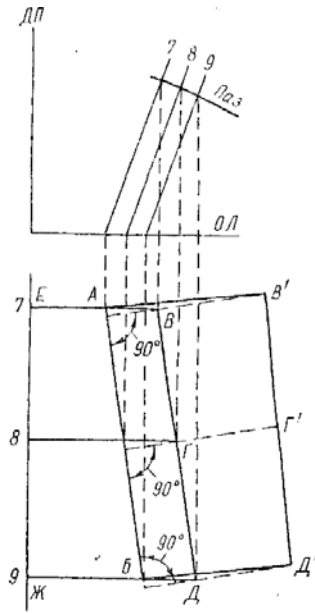


Рис. 2.6. Развертывание листа со сломом

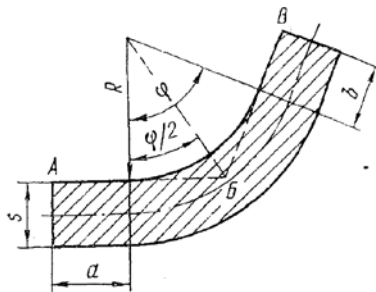


Рис. 2.7. Схема определения погрешности при развертке листов со сломом

Погрешность

$$\Delta l = l_1 - l = 2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - \left( R + \frac{s}{2} \right) \varphi = (R, s, \varphi).$$

При наиболее распространенном случае, когда  $R = 2s$  и  $\varphi = \pi/2$ ,  $\Delta l = 0,07s$ . Подобной погрешностью можно, как правило, пренебречь, что обычно и делают при разметке деталей судна. Но в некоторых случаях, например при гибке на  $90^\circ$  радиусом  $R = 10s$ , эта погрешность составит уже  $3,5s$ , т. е. будет весьма значительной и ее необходимо учитывать. В подобных случаях развертку следует выполнять по нейтральному слою и для каждого участка скругления показывать не одну линию слома, как это было сделано на рис. 2.6 и как обычно задается линия гибки фланцев на корпусных деталях, а две – начало и конец изгиба.

Развертка цилиндрических и конических листов, заданных в явном виде, производится методами начертательной геометрии. Цилиндрические листы, входящие в состав наружной обшивки, разворачивают специфическим методом (рис. 2.8). В верхней части рисунка приведено изображение листа на плазовом корпусе, в нижней – его проекция на ОП (параллелограмм АБВГ). Спроецировав лист еще раз на плоскость, параллельную образующей (перпендикулярно стрелке А), получим истинную величину согнутого листа – контур А'Б'А'Г'В'Г'. Если теперь разогнуть лист, совместив его с плоскостью проекций, то мы получим развертку листа, показанную на рисунке условным пунктиром. При разгибании листа пазовые точки шпангоутов будут перемещаться перпендикулярно к образующей Б'В', а длина дуги шпангоута на развертке, например А"Б'А", будет равна длине дуги 17-го шпангоута на плазовом корпусе.

Для нахождения *стрелки погиби шпангоута* на развертке рассмотрим два заштрихованных треугольника ДЕЖ и ЖЗВ. Они подобны, как прямоугольные треугольники с взаимно перпендикулярными сторонами. Катет ЕЖ равен искомой величине  $y$ , гипотенуза ДЖ – стрелке погиби шпангоута на плазовом корпусе  $m$ . Катет ЗВ равен расстоянию на плазовом корпусе между двумя шпангоутами, т. е. прогрессу  $\Pi$ , а гипотенуза ЖВ – растяжке образующей цилиндра между двумя шпангоутами:

$$P = \sqrt{\Pi^2 + \ddot{\Gamma}^2}.$$



Следует заметить, что полученная формула для определения стрелки погиби шпангоута на развертке цилиндрического листа употребляется также при развертывании листов двойкой кривизны. Поскольку кривизна корпуса судна в продольном направлении незначительна, участок, равный по длине двум шпациям, заменяют цилиндрической поверхностью. Но для листов, изогнутых в продольном направлении (рис. 2.9), прогрессы справа и слева от шпангоута, для которого определяется стрелка погиби  $y$ , имеют разную величину. Поэтому отношение  $\Pi : P$  берется средним из обеих шпаций, смежных с исходным шпангоутом:

$$y = \frac{m(\ddot{I}_1 + \ddot{I}_2)}{\sqrt{4\emptyset^2 + (\ddot{I}_1 + \ddot{I}_2)^2}}.$$

Формула (2.1) является частным случаем только что полученной.

Конические листы в составе корпуса судна надводных судов в явном виде обычно не встречаются.

Детали пятой группы (двойкой кривизны), т. е. изогнутые как в продольном, так и в поперечном направлении, теоретически не могут быть развернуты на плоскость геометрическими методами. Например, участок сферической поверхности можно совместить с плоскостью только путем растяжения одних зон поверхности или укорочения других. Очевидно, что при развертывании подобных листов кроме геометрических соображений должны быть использованы дополнительные гипотезы физического характера, учитывающие изменение длины отдельных участков листа при гибке. Однако кривизна листов, входящих в состав корпуса судна, в большинстве случаев незначительна и упомянутое изменение размеров листа при гибке невелико. Во многих случаях оно настолько мало, что им можно пренебречь, что обычно и делают. Поэтому сначала рассмотрим чисто геометрические методы развертывания листов, отвлекаясь от самого факта их «неразвертываемости», затем определим способы корректировки развертки, выполненной без учета гибочных деформаций.

На рис. 2.9, *a* сплошными линиями приведено изображение листа на плазовом корпусе – заданы сечения листа плоскостями

шпангоутов и линии пазов. Для реальных листов на «корпусе» указывается еще положение стыков, которые обычно не совпадают со шпангоутами. Но для понимания сущности разворачивания это излишняя подробность, поэтому будем считать, что лист по длине судна расположен между 8-м и 14-м шпангоутами.

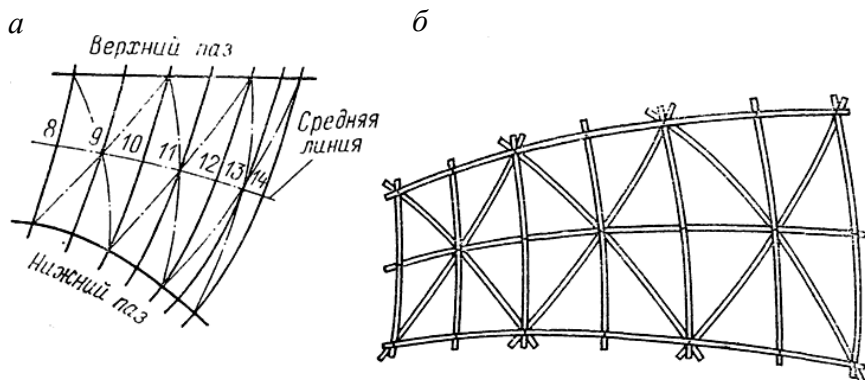


Рис. 2.9. Разворачивание листа с помощью диагональных линий:  
 а – изображение листа на плазовом корпусе; б – реечный шаблон листа

Чертеж листа на плазовом корпусе позволяет определить длину следа каждого шпангоута на развертке (непосредственным измерением) и длину участков пазов между двумя шпангоутами (растягиванием пазов). Но форму пазовых линий и шпангоутов на развертке непосредственно по нему определить нельзя. Для этого нужно ввести какие-то дополнительные условия. Одним из таких условий может быть деление поверхности листа на треугольные участки. С этой целью на рис. 2.9, а штрихпунктиром посередине листа проведена кривая и через точки ее пересечения со шпангоутами – криволинейные диагонали. Длину средней линии и диагоналей можно определить после их растяжки. Переноса полученные растяжкой длины на рейки и скрепив их в узлах гвоздями, получают реечную развертку листа. Однако подобный способ требует больших затрат труда и, главное, недостаточно точен, так как точно совместить узловые точки при сколачивании шаблона не удастся. Поэтому были разработаны способы, основанные на применении строевых линий.



При определении размеров деталей третьей группы строевой являлась прямая линия, пересекающая на корпусе сечение листа по шпангоутам под прямым углом. Однако линия криволинейной поверхности, проекция которой на плазовом корпусе представляет собой прямую, в общем случае на развертке является кривой. Только у слабоизогнутых листов этим искривлением можно пренебречь и принять за строевую прямую линию.

### **2.3. Применение CAD/CAM/CAE систем для плазовой подготовки производства**

Обводы судна, как внешние, так и внутренние, представляют собой совокупность поверхностей сложной формы и сопряжений между этими поверхностями (кривые второго и третьего порядка, набор точек, дуги окружностей, сплайны и т. д.). От качества исполнения обводов зависят многие характеристики судна, в том числе его скорость, маневренность и экономичность.

Для построения фактических обводов корпуса судна – практической модели – до недавнего времени традиционно использовался плазово-шаблонный метод, требующий больших трудозатрат по времени исполнения, затрат на дорогостоящие инструменты и приспособления, а также для него характерна невозможность начать производство и его подготовку до момента завершения плазовой разбивки [2].

Для устранения минусов плазовошаблонного метода менялись его отдельные этапы (внедрялся фотопроекторный метод), но технологический прорыв стал возможен только с появлением компьютерных технологий и применением интегрированных проектно-производственных систем и систем инженерного анализа (CAD/CAM/CAE). Это позволило перейти на принципиально иную технологию, исключая традиционный метод и его вариации.

В настоящее время наиболее развитые 2D и 3D решения для судостроения представлены CADD5 (Computer Vision), Tribon, Foran, CATIA V4 (Dessault Systemes), Pro/Engineer (Parametric Technology Corporation) [3].

**CADD5** – интегрированная инструментальная программная среда для автоматизации процессов проектирования и технологической подготовки изделий, которая включает в себя более 85 от-

дельных программных продуктов, функционально охватывающих эскизное и рабочее проектирование, синтез геометрических моделей, инженерный анализ, разработку чертежно-конструкторской документации, подготовку производства. Благодаря своим функциональным возможностям CADD5 позволяет выполнять разработку многих типов технических объектов, начиная от машиностроительных деталей, конструкций и отдельных изделий до таких сложных сборок, как автомобиль, корабль, морская буровая платформа или производственные предприятия нефтегазовой и энергетической отраслей. Версия для судостроения учитывает массу отраслевых особенностей, она хорошо отлажена и успешно применяется на протяжении длительного времени. Эта система представляет собой интегрированную среду инструментальных систем, способных функционировать практически на любых технических платформах аппаратных средств и взаимодействовать с другими прикладными программами, относящимися к области CAD/CAM/CAE/PDM, и с ЧПУ-оборудованием. В CADD5 поддерживаются все основные стандарты обмена данными: IGES, STEP, SET, DXF, AP203/214 и ряд специализированных стандартов. Имеются прямые трансляторы для обмена с другими САПР: CADD5 – CATIA – CADD5, CADD5 – Unigraphics – CADD5 [4].

CADD5 поддерживает технологию параллельной работы различных проектно-технологических групп, в рамках единой информационной модели согласованно выполняющих операции проектирования, сборки, анализа, тестирования и проверки корректности модели и подготовки ее к производству, позволяет в масштабах предприятия логически связывать информацию об изделии, обеспечивая быструю обработку и доступ к ней пользователя.

Система **Unigraphics** – универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчетов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная. В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердотельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3D-модели, проектирования сборок с учетом ассоциативности. В технологической части (подсистема CAM) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и элект-

троэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента. Для инженерного анализа (подсистема CAE) в систему включены модули прочностного анализа с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений.

Другая система верхнего уровня **САТИА** позволяет заказчику генерировать собственный вариант САПР сквозного проектирования – от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов. В системе реализовано поверхностное и твердотельное 3D-моделирование. Возможна фотореалистичная визуализация, предлагаются типовые конфигурации изделий.

Таким образом, применение вышеперечисленных систем способно коренным образом изменить технологию подготовки производства в судостроении. Плаз в его традиционном представлении заменяется трехмерной (цифровой) моделью изделия.

Применение комплексных CAD/CAM/CAE систем помогает эффективно, быстро и качественно решать задачу создания, анализа и контроля цифровой модели.

### 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСА СУДНА

#### 3.1. Технологическая классификация деталей корпуса и операций по их изготовлению

Количество деталей в составе корпуса весьма велико и измеряется десятками тысяч. Детали отличаются друг от друга формой, размерами, материалом. Изготовление их по индивидуальным технологическим процессам было бы связано с огромными затратами труда, длительностью цикла подготовки производства и невозможностью применения автоматизации и механизации. Поэтому технологические процессы унифицируют на базе их типизации или внедрения методов групповой технологии.

При *групповой технологии* все детали подразделяют на классы по видам обработки (например, в машиностроении – точение, штамповка, строжка и т. д.), затем делят на группы, характеризующиеся общностью применяемого оборудования, оснастки и последовательностью технологического процесса обработки.

Различают три варианта групп:

1. Группы с законченным циклом обработки на одном виде оборудования. Так изготавливают, например, прямые профильные детали на гибочных прессах с программным управлением.

2. Группы, проходящие некоторые общие операции на одном виде оборудования, а затем обрабатываемые на разных видах оборудования или даже по единичным технологическим процессам.

3. Группы, обрабатываемые по одинаковой многооперационной технологии (имеющие общую маршрутную технологию), выполняемые на разнотипном оборудовании. При этом возможны различные сочетания технологических маршрутов с объединением на одной или нескольких общих операциях.

Пример многооперационной технологии обработки в общем виде показан на рис. 3.1. По этому варианту технологии изготавливается большинство деталей корпуса судна.

Все детали корпуса могут быть разделены на небольшое число групп, каждой из которых соответствует определенный технологический маршрут изготовления. Основой такого деления являются материал корпуса (сталь или легкие сплавы), технологическая последовательность операций и применяемое оборудование.

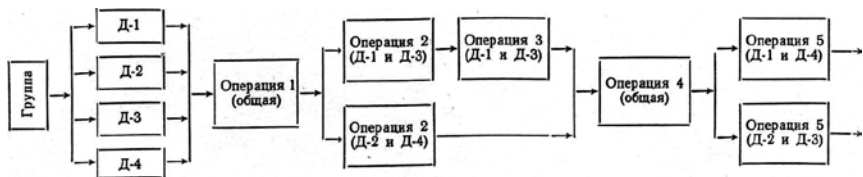


Рис. 3.1. Вариант групповой технологии обработки деталей:  
Д – деталь

Все детали корпуса могут быть разделены на небольшое число групп, каждой из которых соответствует определенный технологический маршрут изготовления. Основой такого деления являются материал корпуса (сталь или легкие сплавы), технологическая последовательность операций и применяемое оборудование.

При изготовлении стальные детали корпуса проходят предварительные и основные операции обработки.

К операциям *предварительной* обработки, выполняемым над исходным прокатом (листами и профилями), относятся:

- 1) правка;
- 2) очистка от окалины и ржавчины;
- 3) нанесение антикоррозионного покрытия.

Общая трудоемкость этих операций составляет 0,3–0,4 % общей трудоемкости постройки судна.

**Основными** операциями являются:

- разметка и маркирование деталей;
- резка механическая или тепловая;
- правка вторичная;
- гибка.

Кроме того, для отдельных деталей применяются разделка кромок и снятие ласок – тепловым или механическим (строгание или фрезерование) способами, сверление отверстий, их зенковка и некоторые другие операции механической обработки. Заканчивается технологический процесс сортировкой и комплектацией деталей.

**Резке** из заготовок подвергают все без исключения детали корпуса судна. При этом используют тепловую резку (газовую и плазменную) или механическую на ножницах. Процессы обработки

резанием со снятием стружки (фрезерование, строгание, сверление) иногда применяют для окончательной обработки уже вырезанных деталей, а также для разделки кромок под сварку.

Выбор основного способа резки (механической или тепловой) зависит от габаритных размеров, толщины и количества одинаковых изготавливаемых деталей, их материала и оснащенности корпусообрабатывающего цеха. Некоторые общие рекомендации приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Рекомендации по применению способов резки листовой стали

| Толщина листов, мм | Кромки деталей   | Рекомендуемые |                                   |
|--------------------|--|---------------|-----------------------------------|
|                    |  | Вид резки     | Оборудование                      |
| До 4               | Прямолинейные  | Механическая  | Гильотинные ножницы               |
|                    | Криволинейные  | То же         | Дисковые или вибрационные ножницы |
|                    | То же  | Лазерная      | Стационарная машина               |
| 4–12               | Прямолинейные  | Механическая  | Гильотинные ножницы               |
|                    | Криволинейные и все детали с вырезами – внутренними и по контуру | Тепловая      | Стационарные машины               |
| Более 12           | Любые  | То же         | То же                             |

Принятый способ резки определяет в основном последовательность и остальных операций. Так, механическая и тепловая резка на переносных машинах (полуавтоматическая) требует предварительной разметки. После резки плоские детали при необходимости правят, а подлежащие гибке передают на участок гибки.

При тепловой резке на стационарных машинах (автоматической) детали маркируют после окончания резки и затем распределяют на последующие операции.

В соответствии с изложенными выше принципами групповой технологии все детали корпуса судна разделяют на пять классов по восемь групп, присваивая им индексы из двух цифр: первая указывает класс, вторая – группу.

Классы деталей следующие:

1-й – листовые крупногабаритные детали с прямолинейными кромками;

2-й – то же с криволинейными;

3-й – мелкие листовые детали (наибольший размер не более 500 мм) с прямолинейными кромками;

4-й – то же с криволинейными кромками;

5-й – из профильного проката.

Характеристиками групп являются:

- форма детали – плоские или гнутые;
- наличие или отсутствие вырезов – внутренних или по контуру;
- наличие или отсутствие разделки кромок под сварку.

### **3.2. Предварительная обработка листов и профилей**

В результате неравномерного обжатия валками в процессе прокатки листов на металлургическом заводе и неравномерного остывания горячекатаных листов в них возникают внутренние напряжения, вызывающие волнистость и местные выпучины (бухтины). Возможны также остаточные деформации листов при небрежной транспортировке и хранении. Эти деформации мешают выполнению разметки и изготовлению деталей и увеличивают коробление конструкций в процессе сварки. Поэтому листы подвергают *предварительной правке*, по окончании которой допускаются местные неровности в пределах от 2 до 4 мм/м в зависимости от толщины листов. Общее искривление листа должно быть не более 10 мм на всю его длину.

*Правку* выполняют созданием в укороченных волокнах листа пластических деформаций растяжения. Существуют следующие виды правки:

1) На валковых листопрямительных машинах (рис. 3.2), в которых лист затягивается между двумя рядами вращающихся валков силами трения, возникающими между ними и листом, и многократно перегибается. В результате перегибов сжатые волокна листа пластически растягиваются. Общее число проходов листа в ту и другую сторону достигает пяти. Для ускорения правки бухтин на сжатые волокна листа иногда укладывают прокладки, создающие участки локального нажима.

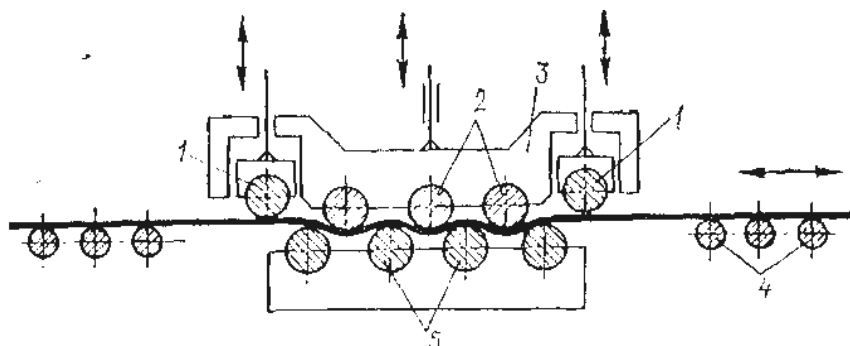


Рис. 3.2. Схема устройства валковой листопрямительной машины

Установка рабочих валков по высоте производится перемещением траверсы 3. Передний направляющий валок 1 обеспечивает ввод листа в вальцы 2 и 5, задний 4 – его прямолинейность после изгиба в предшествующей паре рабочих валков.

Листы толщиной 6 мм и более обычно правят в 5- или 7-валковых машинах. Листы меньшей толщины, обладающие повышенным пружинением, – в 9–11-валковых. Число валков может достигать 17.

2) На правильно-растяжных машинах выполняется правка растяжением, которая может применяться для листов и профилей из материалов с отношением  $\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{т}} \geq 1,2$ , т. е. для подавляющего большинства судостроительных сталей. Лист закрепляется по торцевым кромкам в зажимных губках машины, которые под действием гидравлического давления расходятся, растягивая лист в продольном направлении. В результате пластического удлинения сжатых волокон лист выравнивается. Правка на правильно-растяжных машинах повышает производительность труда в шесть–



восемь раз по сравнению с применением валковых машин, при этом точность правки на правильно-растяжных машинах выше. При растяжении на 1–2 % выравниваются все искривления листа или профиля, причем механические характеристики металла сохраняются в пределах допусков. Машины хорошо вписываются в поточные линии. Основной их недостаток – повреждение поверхности листа насечкой, остающейся от зажимных губок, что требует отрезки концов листа длиной до 300 мм.

Правка в трехвалковых гибочных машинах толстых листов из высокопрочных сплавов выполняется при недостаточной мощности листопрямляющих машин за два перехода с переворачиванием, а также на гидравлических прессах свободной гибкой.

Профильный прокат правят на горизонтально-гибочных прессах типа «Бульдозер», на роликовых правильных машинах (многократным перегибом подобно правке листов в листопрямляющих вальцах), на растяжных машинах, а также на гидравлических прессах. Допускается местная волнистость не более 2 мм на метр, а общее искривление – не более 8 мм на длину полосы профиля.

Листовой и профильный прокат, поступающий на судостроительный завод, обычно покрыт слоем окалины и ржавчины, а иногда имеет масляные и другие загрязнения. Это требует предварительной очистки проката, а также последующего антикоррозионного покрытия, предохраняющего металл от ржавления в период изготовления корпусных конструкций.

Для листов толщиной 4 мм и более и для профилей применяют в основном дробеметный способ очистки; для листов толщиной 3 мм и менее – химическое травление в ваннах, а также дробеметную очистку на специальных установках.

Очистку дробеметным способом выполняют в поточной линии, где последовательно производятся сушка и обезжиривание; очистка ударами дроби от окалины и ржавчины; обдувка сжатым воздухом для удаления пыли с очищенных поверхностей; грунтование или фосфатирование; сушка.

В камере предварительной сушки лист с двух сторон нагревается газовыми горелками, работающими на природном газе; температура нагрева 70–80 °С. При этом лист высушивается (для удаления атмосферных осадков), а жировые загрязнения сгорают. Нагрев листа способствует также отслоению окалины (коэффициент

линейного расширения ее неодинаков с основным материалом) и в последующем ускоряет сушку антикоррозионных покрытий.

В дробеметную камеру лист может подаваться в вертикальном положении по рольгангу (рис. 3.3). Чугунная или стальная дробь (диаметром 0,5–2,5 мм) из расходного бункера поступает по трубам на лопатки дробеметных аппаратов, представляющих собой 6–8-лопастные турбинки с приводом от электродвигателей со скоростью вращения 2500–3000 об/мин. Под действием центробежной силы дробь выбрасывается на поверхность листа со скоростью до 80 м/с, сбивая с нее окалину и ржавчину. Обработанная дробь вместе с окалиной и ржавчиной попадает в сепаратор. В нем окалина, ржавчина и мелкие частицы дроби отсасываются воздухом и удаляются в сборник, крупные частицы поступают в расходный бункер и используются повторно.

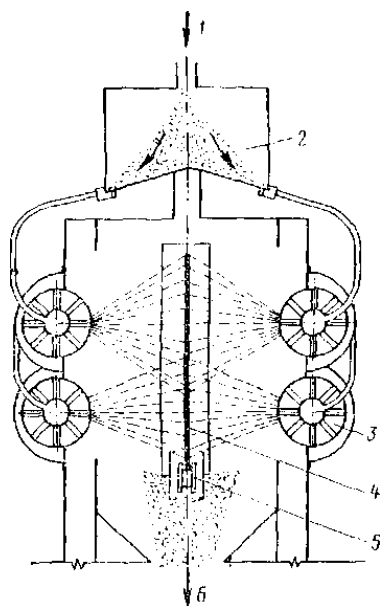


Рис. 3.3. Схема дробеметной камеры для очистки листов:  
1 – поступление очищенной дроби; 2 – расходный бункер;  
3 – дробеметный аппарат; 4 – очищаемый лист; 5 – приводной ролик;  
6 – удаление отработанной дроби

Грунтуют листы в специальной камере безвоздушными краско-распылителями.

Применяют две основные схемы антикоррозионной защиты листов в поточных линиях:

- нанесение на очищенный лист фосфатирующего раствора и после сушки — покрытие раствором олифы в уайт-спирите, что предохраняет металл от последующего ржавления на срок не более трех месяцев;

- двухслойное антикоррозионное покрытие фосфатирующими грунтами ВЛ-02 и ВЛ-023. Это предохраняет металл от ржавления в течение 8–10 месяцев.

Используются также поточные линии дробеметной очистки с горизонтальным положением листа. Они короче на две длины листа благодаря исключению кантовки его на входе и выходе. В связи с предстоящим увеличением размеров листов в судостроении (шириной до 4,5 м и длиной до 16–18 м) масса их будет достигать 12–15 т, что потребует создания мощных тяжелых кантователей и значительного увеличения длины поточной линии. В этих условиях очистка в горизонтальном положении целесообразнее.

Поточная линия дробеметной очистки профильной стали в принципе такая же, как и для листовой. Химическая очистка листов малой толщины производится травлением в ваннах в 15–20%-м растворе соляной или серной кислоты. Продолжительность травления – от 1 до 3 ч в зависимости от марки стали и состояния поверхности листа. После травления производится промывка листов холодной водой, нейтрализация в 3–5%-м растворе кальцинированной соды в течение 3–5 мин и повторная промывка холодной водой. Затем производят пассивацию – обычно фосфатированием в растворе препарата «Мажеф» с последующим покрытием олифой или грунтом.

Стоимость химической и дробеметной очистки примерно одинакова. Однако химической очистке свойствен ряд недостатков: тяжелые условия труда, невозможность создания непрерывной поточной линии, трудность утилизации отходов травильных растворов и др. Поэтому в последнее время тонкие листы стремятся очищать дробеметным способом на специальных установках.

### 3.3. Разметка листов и профилей

Разметка состоит в нанесении на листы и профили контуров деталей в натуральную величину с учетом припусков на обработку и сборку. Наносятся также базовые и контрольные линии деталей и линии притыкания смежных деталей, используемые при сборке конструкций. Кроме того, при разметке детали маркируют, т. е. на них наносят надписи и знаки, определяющие данную деталь.

Разметке подвергают листы, детали из которых намечено вырезать механическими ножницами или переносными машинами для тепловой резки, а также профили. Все листы и профили, поступающие на разметку, должны быть выправлены, очищены от ржавчины, окалины и грязи и покрыты грунтом.

Существуют следующие способы разметки:

- по эскизам;
- по шаблонам;
- фотопроекционная;
- электрографическая;
- на машинах с числовым программным управлением (ЧПУ).

Исходными данными при разметке по эскизам являются карты раскроя листов, определяющие взаимное расположение деталей, и эскизы, задающие их форму и размеры. По этим данным разметчик выполняет на листе необходимые геометрические построения. Размеры откладывают по рулетке точности не ниже второго разряда. Прямые линии наносят чертилкой по металлической линейке или отбивают намеленной ниткой.

Для нормального протекания процесса резки между линией контура детали и кромками листа необходимо оставлять некоторое расстояние. Его минимальная величина при механической резке составляет половину толщины листа, но не менее 5 мм, при газовой резке – 5 мм независимо от толщины. Кромки деталей, имеющие припуск, рекомендуется совмещать с кромками листа. По возможности следует совмещать прямолинейные кромки смежных деталей, так как при этом сокращается общая длина линии реза на листе. Для деталей, вырезаемых тепловой резкой, совмещенные кромки деталей должны отстоять друг от друга на ширину реза. При разметке деталей, вырезаемых на механических ножницах, должна быть обеспечена возможность сквозной резки через весь лист.

Размеченные линии фиксируют на металле кернением в соответствии со специальными правилами. Так, по линиям контуров керны наносят равномерно через 69–100 мм. На больших деталях (размером более 500 × 500 мм) линии кромок кернят не по всей длине, а на отдельных участках, по три керны с разрывом между группами в 0,5–1,0 м. На деталях, подлежащих гибке, линии изгиба всегда кернят с внутренней стороны, так как керны, нанесенные на внешней, растягиваемой при гибке стороне, могут послужить очагом образования трещин. При разметке листов из нержавеющей стали кернить разрешается только контуры деталей и контуры вырезов, т. е. линии, по которым будет производиться резка. Линии гибки, линии приварки набора прерывистым швом наносят на нержавеющей стали чертилкой. На легких сплавах разметка всех линий выполняется карандашом.

При разметке по шаблонам их раскладывают на листе, обводят чертилкой и линии кернят. Этот метод требует меньших затрат труда и более точен, чем эскизный. Из-за затрат на изготовление, хранение, проверку и транспортировку шаблонов применение его целесообразно только при достаточно большом количестве одинаковых деталей, например при разметке фасонных концов деталей из профиля.

Погрешности разметки, т. е. отклонения фактических размеров вычерченных деталей от номинальных, для листовых деталей размером более 3 м не должны превышать  $\pm 1$  мм по длине и  $\pm 2$  мм по размерам диагоналей. Отклонения прямолинейных кромок от прямой и лекальных от теоретической формы должны быть не более 1 мм.

Описанные виды разметки относятся к ручным. Из механизированных наибольшее распространение получила фотопроекционная разметка. Над размечаемым листом устанавливается проектор, в который закладывается негатив, полученный фотографированием чертежа-шаблона, так же как это делается при изготовлении шаблонов на плазе. Одновременно детали маркируются.

Точность деталей, размеченных фотопроекционным способом, не выше, чем при ручной разметке. Погрешность способа складывается из погрешностей вычерчивания чертежа-шаблона, деформаций бумаги, на которой он вычерчен, вызываемых изменением температуры и влажности воздуха, неизбежных (хотя и незначи-

тельных) погрешностей объективов фотосъемочного и проекционного аппаратов. Кроме того, играют роль отклонения формы размечаемого листа от теоретической из-за наличия на листах бухтин и некоторого смещения меловых линий при фиксации световой проекции. Однако в последнее время в связи с появлением станков с ЧПУ данный метод используется все реже.

При электрографическом методе разметки фиксация светового изображения осуществляется автоматически, как при печатании обычных фотографий. Для этого поверхность металла покрывают специальной светочувствительной эмульсией, высушивают ее и с помощью зарядного устройства создают на ней потенциал в 400–700 В. При проецировании негатива освещенные участки эмульсии теряют заряд, т. е. получается невидимое электростатическое изображение чертежа. Изображение проявляют, посыпая лист специальным порошком, и закрепляют линии в фиксаторной камере. Так как для нормального протекания процесса диэлектризации эмульсии освещенность листа должна быть значительно выше, чем при фотопроекционной разметке, приходится опускать сам проектор. Изображение при этом не охватывает всего поля разметки, в связи с чем разметка листа производится за три-четыре раза, причем каждый раз проектор (или лист) перемещается в новую позицию. Из-за сложности этот способ разметки в промышленности распространения не получил.

В разметочно-маркировочной машине, работающей по программе, записанной на флеш-карте, в качестве пишущего инструмента применен пневматический кернер или каплеструйный маркировщик (принтер). Машина наносит все линии разметки, а также цифры и буквы маркировки. Очертания цифр и букв упрощены – они составлены из горизонтальных и вертикальных отрезков прямых.

Независимо от способа изготовления все корпусные детали маркируют. Марки, т. е. буквы и знаки, наносят кернением (вручную или пневмокернером), краской или несмываемыми чернилами. Наибольшее распространение в настоящее время получили два последних способа: они менее трудоемки, надписи лучше различаются, нет шума, неизбежного при кернении.

Маркировку подразделяют на основную, дополнительную и вспомогательную. *Основная* маркировка содержит заводской номер

заказа, марку стали, номер чертежа секции или блока, номер детали. *Дополнительная* маркировка включает ориентирные надписи (нос, корма, верх, низ, правый борт, левый борт, ДП), номера шпангоутов и технологические указания об обработке фасок, гибке, величине припуска, технологической последовательности операции обработки. *Вспомогательная* маркировка содержит общие указания, например, «вырез сделать при сборке».

Размеченные детали маркируются в процессе разметки, а детали, вырезаемые на стационарных машинах для тепловой резки, – непосредственно после вырезки.

Маркируют и так называемые деловые отходы. На отходы размером 400 × 1000 мм необходимо в целях экономии металла наносить его марку и использовать их для изготовления мелких деталей.

### 3.4. Тепловая резка

Резка листов и профилей на детали является ведущей операцией корпусообработывающего производства. Трудоемкость тепловой и механической резки деталей составляет 30–40 % всей трудоемкости изготовления деталей корпуса судна.

Сравнительная характеристика различных способов тепловой резки представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Способы тепловой резки металлов и сплавов

| Вид резки   | Разрезаемые материалы                                     | Диапазоны толщин при резке углеродистой стали, мм |                     | Показатели резки малоуглеродистой стали толщиной 10 мм |                         |
|-------------|---|---|---------------------|--|-------------------------|
|             |   | Освоенные   | Предельные значения | Относительная скорость                                 | Относительная стоимость |
| Кислородная | Малоуглеродистые и низколегированные стали, сплавы титана | 5–100   | 0,5–1500            | 1  | 1                       |
| Плазменная  | Все конструкционные металлы                               | 3–100   | 1–250               | 8  | 0,4                     |
| Лазерная    | То же   | 0,3–20  | 0,01–50             | 1,2  | 2,8                     |

Тепловая резка производится на стационарных и переносных машинах, а также вручную.

Иногда стационарные машины условно называют газорезательными автоматами, а переносные – полуавтоматами, и процесс вырезки на них деталей – соответственно автоматическим и полуавтоматическим.

В последнее время все газорезательные машины оснащаются блоками управления с ЧПУ и преимущественно сенсорными экранами. Основные возможности таких систем на примере машины плазменной резки «Комета М-Пл» с двумя плазменными головками МАХ 200:

- герметичное, пылезащищенное исполнение и встроенная система охлаждения/подогрева (режим «зима-лето»), позволяющие обеспечить работу в условиях как неотапливаемых заготовительных цехов, так и при повышенных температурах;

- графическое отображение процесса резки на экране с указанием текущей позиции резака, графическим отображением контура деталей, подлежащих раскрою;

- ведение базы данных деталей, позволяющее максимально упростить работу оператора и обеспечить быстрое овладение работой на машине;

- отображение на экране технологических параметров резки;

- возможность масштабирования для более детального просмотра карты раскроя;

- просмотр и редактирование программ раскроя;

- макросы (шаблоны) для часто используемых деталей;

- выход в ноль в двух рабочих зонах;

- программируемые приращения 0,1–1 мм;

- адаптация управляющей программы под реальное положение листа на раскройном столе;

- прерывание реза с автоматическим восстановлением в дальнейшем текущего положения резака.

Ввиду высоких требований к качеству деталей, которые не обеспечиваются машинами общепромышленного назначения, и стационарные и переносные машины разрабатываются и изготавливаются судостроительной промышленностью специально для своих нужд.



Машина «Кристалл-ППл-3,2 × 2» (П – порталная, Пл – плазменная) является одной из хорошо зарекомендовавших себя моделей стационарных газорезательных машин, выпускаемых судостроительной промышленностью. Машина состоит из портала 1, перемещающегося по направляющим рельсам 8 (рис. 3.4). На портале размещен пульт управления 6 с устройством считывания программы, шкаф управления 7, линейный привод 5 (расположен внутри портала), а также каретки 4, имеющие суппорты 3 с установленными на них резаками 2. Вдоль обоих рельсов расположены зубчатые рейки продольного хода 9. К порталу примыкает транспортер, по которому проходят резиноканевые рукава (шланги) газоводопитания, кабель для питания режущей дуги и кабели управления. В комплект машин входят устанавливаемые отдельно блок питания системы управления движением, источник питания режущей дуги, шкаф управления режущей дугой.

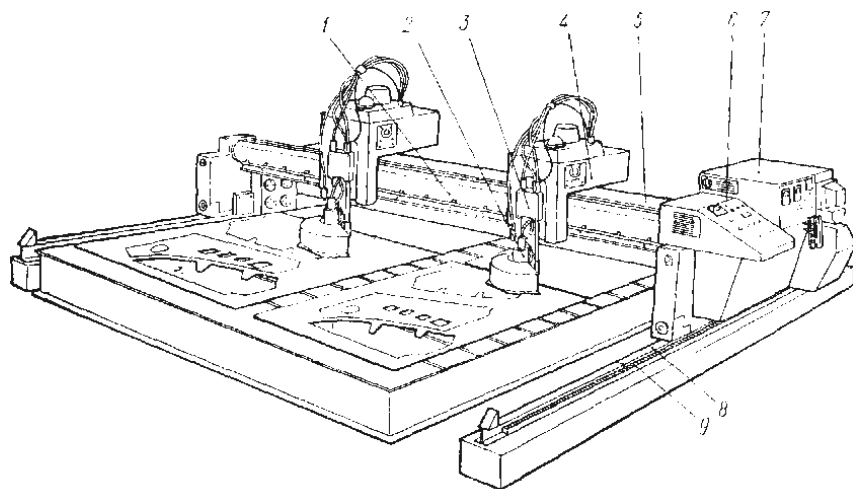


Рис. 3.4. Машина «Кристалл» с ЧПУ

Машины, работающие по стальным копирам и по копиристам, широко распространенные раньше, в настоящее время потеряли свое значение. Они находят применение на заводах для вырезки мелких деталей.

Переносные газорезательные машины представляют собой самоходные тележки, перемещающиеся по уложенным на разрезаемый лист направляющим. Тележка несет один или два резака. Переносными машинами вырезаются детали с прямолинейными кромками и кромками, имеющими незначительную кривизну, а также производится разделка кромок под сварку (снятие фасок и ласок). При разделке кромок резак устанавливается под заданным углом к поверхности листа. В зависимости от требуемой формы разделки выполняются от одного до трех проходов по каждой кромке. Однако можно выполнить разделку за один проход, объединив резаки в блок (рис. 3.5). При этом резаки в блоке должны быть смещены вдоль направления резки, чтобы струи кислорода не пересекались друг с другом.

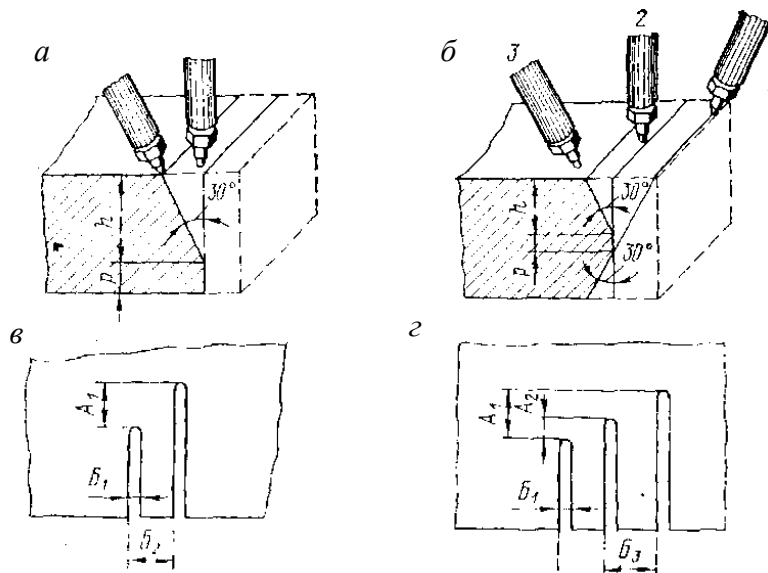


Рис. 3.5. Схема резки с разделкой кромок под сварку блоком резаков:  
*a* – блок из двух резаков; *б* – блок из трех резаков; *в*, *з* – смещение резаков в плане;  
 $A_1$ ,  $A_2$  – продольные смещения;  $B_1$  – ширина реза;  $B_2$ ,  $B_3$  – поперечные смещения;  
 $p$  – притупление;  $h$  – высота разделки

Современные газорезательные машины оснащаются блоком резаков, позволяющим вырезать детали сразу с разделкой кромок. Однако вырезка мелких деталей с разделкой кромок нецелесообразна,

так как наладка трехрезакового блока (установка резаков на требуемый угол, регулировка пламени и т. п.) требует значительного времени. Поэтому мелкие детали вырезают на стационарных машинах одним вертикальным резаком, а затем выполняют разделку кромок или на специальных газорезательных машинах, в которых блок резаков движется по кромке детали, или на переносных машинах, или механическим способом на станках СКС-25.

Ручная тепловая резка применяется в ограниченном объеме – для вырезки деталей из профильного проката, разрезки перемычек между деталями или резки отходов на куски, удобные для транспортировки, и т. п.

В качестве горючего при кислородной резке используются ацетилен  $C_2H_2$ , пропан  $C_3H_8$ , бутан  $C_4H_{10}$  (чаще смесь пропана и бутана), а также природный газ, основной составной частью которого (98 %) является метан  $CH_4$ . Весьма важной характеристикой горючего является температура пламени. Количество теплоты  $q$ , вводимой пламенем в металл за единицу времени через единицу поверхности, выражается зависимостью

$$q = \alpha (T_{пл} - T_m),$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена между пламенем и металлом, ккал/( $см^2 \cdot с \cdot ^\circ C$ ), кДж/ $см^2 \cdot с \cdot ^\circ C$ ;

$T_{пл}$  – температура пламени,  $^\circ C$ ;

$T_m$  – температура поверхности нагреваемого металла,  $^\circ C$ .

Чем выше температура пламени, тем быстрее нагревается металл до температуры воспламенения его в кислороде и тем выше скорость резки.

Температура пламени в смеси с кислородом составляет для ацетилена 3100–3300  $^\circ C$ , пропана и бутана 2400–2700  $^\circ C$ , природного газа 2000–2200  $^\circ C$ . Лучшее горючее – ацетилен, однако он является ценным сырьем для химической промышленности и обеспечение им судостроительных заводов сопряжено с определенными трудностями. Поэтому на некоторых заводах применяют пропан-бутановую смесь и природный газ.

Скорость кислородной резки в значительной степени зависит от чистоты кислорода. Повышение чистоты кислорода с 99 до 99,8 позволяет увеличить скорость резки без ухудшения качества на

20–25 %, т. е. снижает трудоемкость резки. Борьба за высокую чистоту кислорода – одна из основных задач совершенствования процесса кислородной резки.

При кислородной резке часть выдуваемого из разреза расплавленного и частично окисленного металла прилипает к нижней кромке листа. Для удаления образовавшегося грата детали приходится переворачивать и зачищать. Грат удаляют вручную с помощью скребка или ручной пневматической машинкой с наждачным кругом. Попытки механизировать этот процесс пока успеха не имели. Между тем, уменьшив мощность пламени резака и несколько снизив скорость, можно вырезать детали без грата при чистоте кислорода 99,2 %, но из-за значительного снижения скорости резки этот процесс экономически невыгоден. Увеличение же чистоты кислорода до 99,7–99,9 % обеспечивает безгратовую резку почти без снижения производительности процесса.

Для плазменной резки характерны следующие преимущества по сравнению с кислородной: увеличение производительности оборудования и рабочих вследствие высоких скоростей резки; универсальность процесса (благодаря высокой температуре плазмы разрезаются любые металлы); уменьшение тепловых деформаций вырезаемых деталей, так как тепла в металл вносится в несколько раз меньше, чем при кислородной резке; отсутствие при правильном режиме грата на кромках. Главными ее недостатками являются усложнение условий труда и в некоторых случаях – неблагоприятное воздействие на процесс последующей сварки деталей. Яркая плазменная дуга ослепляет окружающих и является источником шума, поэтому на стационарных машинах резак должен заключаться в светозащитный кожух. При резке образуются озон, окись азота и другие вещества, неблагоприятно влияющие на человеческий организм, в связи с чем раскроечные столы должны снабжаться эффективной вытяжной вентиляцией, без которой применение плазменной резки недопустимо.

При воздушно-плазменной резке конструкционных сталей наблюдается увеличение содержания азота в слоях, прилегающих к поверхности реза (до 0,33 % при содержании азота в исходном металле 0,018 %). При последующей сварке деталей толщиной менее 12 мм под слоем флюса из-за этого отмечено образование пор и свищей. Для других способов сварки подобного явления не

наблюдалось. Замена воздушно-плазменной резки кислородно-плазменной снижает газонасыщение кромок и способствует нормальному протеканию процесса сварки. Однако наименьшее газонасыщение достигается применением смеси воздуха или кислорода с водой. Для этого созданы резаки специальной конструкции, в которых плазменная струя окружена тонкой водяной завесой. Этот способ рекомендуется в основном для резки малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей. Кислород, содержащийся в плазмообразующем газе, реагируя с железом, повышает тепловыделение в зоне реза, что позволяет повысить скорость резки. Для резки высоколегированных сталей, меди, латуни и бронзы рекомендуется применять азот, а для алюминиевых сплавов – смесь аргона с водородом.

Существующие в настоящее время технология и оборудование для тепловой резки пока не обеспечивают точности, полностью устраняющей необходимость пригонки при сборке.

Погрешности тепловой резки на машинах с программным управлением вызываются в основном тепловыми деформациями вырезаемых деталей.

Для уменьшения тепловых деформаций последовательность вырезки деталей необходимо указывать на картах раскроя или на копирчертежах. Сначала следует вырезать узкие и длинные детали, которые при раскрое листа должны по возможности располагаться у одной из продольных кромок. Начало и направление реза каждой детали назначают так, чтобы кромка, соединяющая деталь с основной частью листа, отрезалась в последнюю очередь. Иногда, особенно при вырезке длинных и узких полос, оставляют перемычки – участки непрорезанного металла длиной 12–15 мм, которыми детали скрепляются друг с другом и с еще неразрезанной частью листа. Перемычки разрезают вручную после остывания листа.

В принципе, следовало бы составлять программы вырезки деталей с учетом ожидаемых тепловых деформаций, с тем чтобы после остывания детали приобретали требуемую форму. Однако если из листа вырезается несколько деталей, тепловое поле при вырезке каждой из них влияет на тепловые поля других деталей, причем это влияние меняется во времени.

### 3.5. Механическая обработка листовых и профильных материалов

Под механической обработкой понимают процессы изменения формы и размеров заготовок, связанные с механическим воздействием режущего инструмента на обрабатываемую поверхность. Наибольшее применение в корпусообработывающих цехах имеет механическая резка.

Различные способы резки листовых материалов приведены на рис. 3.6. Наибольшее применение в современных корпусообработывающих цехах имеют гильотинные ножницы (рис. 3.6, *а*) с длиной ножа 2–5 м (иногда и более). В старых конструкциях ножниц ножи приводились в движение с помощью кривошипных или эксцентриковых механизмов. Современные ножницы обычно выполняются гидравлическими.

Для резки длинных листов с повышенной точностью также применяют однодисковые ножницы (рис. 3.6, *б*) с прямолинейным нижним ножом. Дисковые ножницы (рис. 3.6, *в*, *г*, *д*) применяются главным образом для резки сравнительно тонких листов. Наклон их ножей облегчает вырезку деталей с криволинейными кромками. Поворот листа в его плоскости в процессе резки осуществляется вручную.

Пресс-ножницы с короткими прямыми ножами (по типу показанных на рис. 3.6, *а*) длиной до 500 мм применялись для резки листов толщиной до 20 мм. Такие же пресс-ножницы, но с фигурными ножами находят применение для резки сортового проката (круглого, квадратного, шестигранного) и некоторых видов фасонного, например, углового. Вибрационные ножницы (рис. 3.6, *ж*) выполняют резку коротким ножом материала толщиной до 10 мм. Число ходов ножа от 500 до 3000 в минуту при величине хода от 2 до 10 мм. Подобными ножницами можно производить резку как по прямой, так и криволинейную.

Для закрепления листа при резке во избежание сдвига на гильотинных ножницах применяются механические, пневматические или гидравлические прижимы. Ножницы имеют задние упоры, которые можно использовать при резке листов на полосы одинаковой ширины без разметки после настройки упора на заданную ширину.

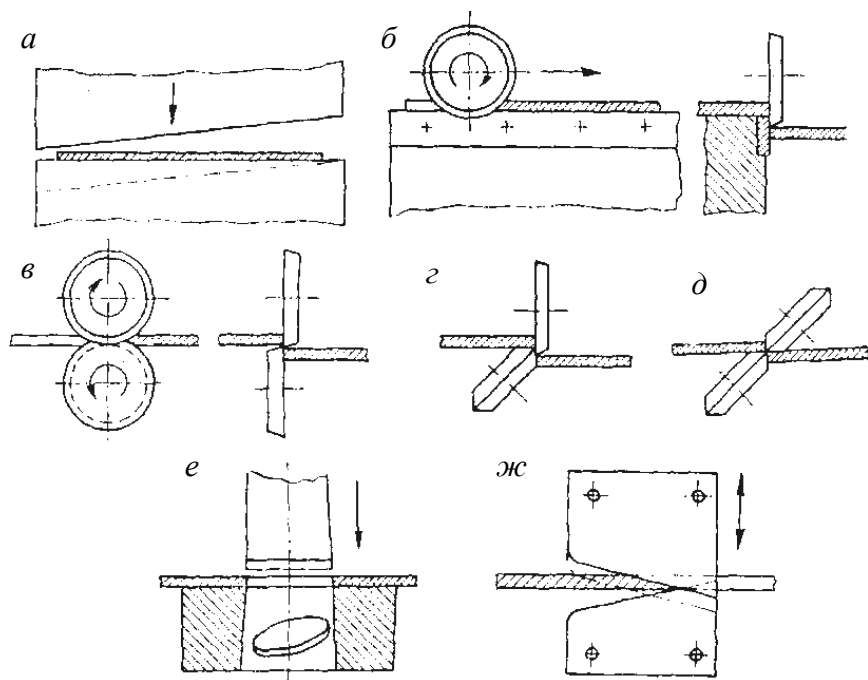


Рис. 3.6. Способы механической резки листовых материалов:  
*a* – на гильотинных ножницах,  $s < 50$  мм; *б* – однодисковых,  $s < 40$  мм;  
*в* – дисковых с параллельными ножами,  $s < 30$  мм; *г* – дисковых с наклоном  
 нижним ножом,  $s < 30$  мм; *д* – дисковых с наклоном нижним ножом,  $s < 20$  мм;  
*е* – вырубными штампами; *ж* – на вибрационных ножницах,  $s < 10$  мм;

В процессе резки листа на гильотинных ножницах листы надо подавать и поддерживать. Для этого на полу цеха перед ножницами устанавливаются стойки, на которых укреплены опорные ролики, позволяющие перемещать лежащий на них лист в любом направлении. Для облегчения уборки вырезанных деталей за ножницами иногда устанавливают специальную тележку, на которую подают вырезанные детали и отходы.

В процессе резки (рис. 3.7) листового материала ножницами происходит сложное деформирование материала, состоящее из трех последовательных стадий:

- 1) упругой, пока напряжения не превосходят предела текучести  $\sigma_T$ ;

2) пластической, когда напряжение в металле, превысив  $\sigma_T$ , достигает максимума, соответствующего сопротивлению срезу (сдвигу). При этом наибольшие деформации направлены по линиям (поверхностям) скольжения, начинающимся у острия режущих кромок ножей. Ножи вдавливаются в металл на 0,2–0,5 его толщины;

3) стадии скалывания, при которой происходит образование микро- и макротрещин, направленных по поверхностям скольжения и вызывающих отделение одной части материала от другой по линии скалывания  $b$ . Таким образом, металл разделяется на две части раньше, чем ножи сомкнутся. На кромке отрезанного листа четко выделяются две зоны: узкая блестящая полоска, соответствующая пластической стадии деформирования, и более широкая матовая – зона скалывания.

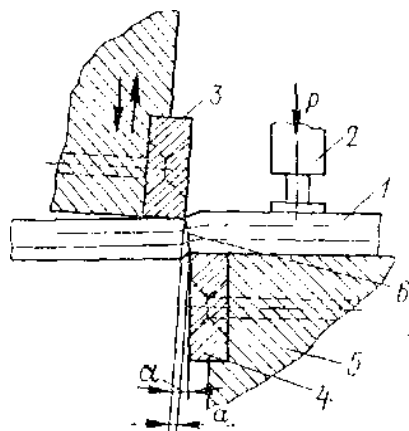


Рис. 3.7. Схема механической резки листа:

1 – разрезаемый лист; 2 – прижим; 3, 4 – ножи; 5 – стол; 6 – линия скалывания;  
 $a$  – зазор между ножами;  $\alpha$  – угол отклонения от вертикали плоскости движения ножевой балки

В связи со сложным деформированным состоянием металла в процессе резки и неоднородностью силового поля усилие резки определяют приближенно, исходя из действия по всей поверхности реза одинаковых напряжений – сопротивления срезу  $\sigma_{ср}$ . Это – условная технологическая величина (не являющаяся механической



характеристикой металла), которая объединяет все виды сопротивления разрезаемого металла и учитывает упрочнение металла к моменту скалывания. При существующих скоростях движения ножей на ножницах для конструкционной стали можно принимать

$$\sigma_{\text{н\ddot{o}}} = (0,8-0,86)\sigma_{\text{\grave{a}}},$$

где  $\sigma_{\text{в}}$  – предел прочности стали.

При резке наклонным ножом (рис. 3.8) усилию внедрения ножа в металл в каждый момент времени противостоит часть листа в виде треугольника, заштрихованного на рисунке.

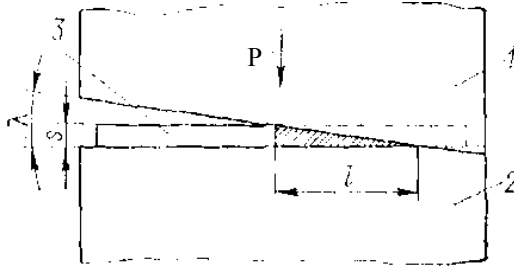


Рис. 3.8. Схема резки листа на гильотинных ножницах:  
1, 2 – верхний и нижний ножи; 3 – разрезаемый лист

Площадь этого треугольника

$$F = \frac{sl}{2} = \frac{s^2}{2\text{tg}\lambda}.$$

Усилие резки будет

$$P = F\sigma_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{s^2\sigma_{\text{н\ddot{o}}}}{2\text{tg}\lambda}, \text{ тс}, \quad (3.1)$$

а работа резки

$$\dot{A} = PL \operatorname{tg} \lambda,$$

где  $L$  – длина всей линии реза.

Проверку возможности резки листа толщиной  $s$  с пределом прочности  $\sigma_{\text{в}}$  по известным паспортным данным станка  $s_{\text{п}}$  и  $\sigma_{\text{в.п}}$  тех же величин можно произвести по формуле, легко получаемой из выражения (3.1):

$$s = s_{\text{п}} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{в.п}}}{\sigma_{\text{в}}}}.$$

В современных конструкциях гильотинных ножниц угол  $\lambda$  лежит в пределах от 0,5 до 6°, причем его нужно уменьшать при резке материала малой толщины и увеличивать с ростом толщины металла. Таким образом снижается усилие резки толстых листов.

Изменением угла отклонения верхнего ножа от вертикали в пределах от 0 до 4° (это достигается в современных ножницах поворотом ножевой балки, в которой закреплен верхний нож) можно улучшить качество обрезанной кромки и обеспечить ее перпендикулярность. Максимальные значения угла устанавливают при резке материала большей толщины.

Для простоты заточки ножей их грани часто делают взаимно перпендикулярными.

Зазор  $a$  между ножами необходим для исключения насаживания верхнего ножа на нижний под влиянием «затягивания» разрезаемым металлом. Он зависит от толщины металла и составляет от 0,1 до 1 мм.

Металл в зоне реза в результате наклепа упрочняется при одновременном понижении пластичности и ударной вязкости. У стальных листов толщиной 4–20 мм ширина упрочненной зоны (вглубь листа) лежит в пределах 1,5–5 мм. Поэтому свободные (несвариваемые) кромки ответственных деталей, испытывающих знакопеременные нагрузки, после механической резки иногда подвергают строганию или фрезеровке для удаления упрочненного слоя, имеющего к тому же микротрещины.

Основным достоинством механической резки по сравнению с тепловой является высокая производительность этого процесса. Однако механическая резка сопряжена с ручным трудом, требующим к тому же приложения значительных физических усилий при установке листа относительно ножей. Кроме того, при обрезке узких полос они получают винтообразную деформацию, выправлять которую весьма сложно.

Наконец, механическая резка не поддается автоматизации. Вследствие перечисленных недостатков механическая вырезка деталей корпуса постепенно вытесняется тепловой.

Точность вырезаемых деталей зависит от качества настройки и заточки ножей и от точности разметки, а также наведения линии реза под нож. Согласно отраслевой документации допуски габаритных размеров деталей с прямыми кромками составляют от  $\pm 1,5$  до  $\pm 2,5$  мм в зависимости от длины листа.

Мелкие листовые детали при большом их количестве целесообразно не вырезать, а вырубать с помощью штампов (рис. 3.6, е). Для штамповки чаще применяются кривошипные и эксцентриковые прессы, режы – гидравлические.

Усилие вырубки определяется по формуле

$$P = ksL\sigma_{\text{ср}}, \text{ даН (кгс)},$$

где  $k = 1-1,3$  – коэффициент, зависящий от условий работы (величины зазора, степени затупления кромок и др.);

$s$  – толщина листа, мм;

$L$  – периметр вырубаемой детали, мм;

$\sigma_{\text{ср}}$  – сопротивление срезу,  $\text{Па} \cdot 10^{-7}$  (кгс/мм<sup>2</sup>).

Иногда целью штамповки является не вырубка деталей по контуру, а изготовление отверстий в деталях; например, с помощью штампов часто производят перфорацию панелей.

Профильные детали, концы которых имеют фигурную форму, а также вырезы, по форме и размерам отличающиеся от тех, которые могут быть сделаны с помощью входящих в комплект прессы штампов, вырезаются газовыми резаками вручную по разметке.

Разделка кромок деталей под сварку (снятие фасок) иногда выполняется на специальном станке СКС-25 (рис. 3.9). Режущий

вращающийся диск 2 имеет зубья, которые врезаются в металл детали 1. Усилие резания прижимает деталь к упорам 3 и одновременно заставляет ее скользить вдоль упоров со скоростью  $v$ , равной окружной скорости на режущей кромке диска. Для облегчения перемещения детали ее укладывают на валики 4. Станок предназначен для разделки кромок небольших деталей, так как последние укладываются на стол и снимаются вручную.

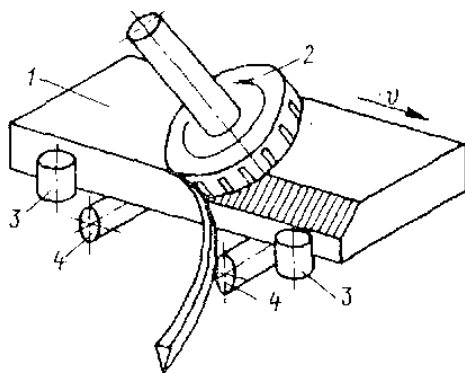


Рис. 3.9. Схема разделки кромок на станке СКС-25

В некоторых случаях кромки деталей после тепловой или механической резки дополнительно обрабатывают на станках снятием стружки с целью удалить газонасыщенный (после тепловой резки) или нагартованный (после механической резки) слой металла. При этом детали с прямолинейными кромками обрабатываются на кромкострогальных станках, а с криволинейными – на фрезерных. Эта операция существенно удорожает обработку, и поэтому прибегать к ней следует только в случае действительной необходимости, например, при сварке деталей из титановых сплавов, где газонасыщенный слой должен быть снят для обеспечения удовлетворительных механических качеств сварного соединения.

Сверление деталей в корпусообрабатывающих цехах и зенкование отверстий (изготовление конического отверстия под головку потайной заклепки или винта) производят на радиально-сверлильных станках, которые удобны тем, что при обработке деталь лежит неподвижно, а к центру отверстия подводится сверло.

### 3.6. Импульсная резка листов и профилей на газодинамических установках, работающих по принципу ДВС

Анализ энергозатрат на осуществление технологий импульсной резки показывает, что специализированное оборудование должно обеспечивать широкий диапазон энергий удара  $E$  ( $E = 3-60$  кДж) [5]. Учитывая сложность обеспечения такого диапазона в рамках одной машины (высокоскоростного молота), на основе способа создания ударной нагрузки и технических решений был разработан рабочий проект оборудования (газодинамическая установка ГДУ-2 с двухкамерным энергоузлом), предназначенного для работы с энергиями удара до 40 кДж [5]. Рассмотрим устройство и принцип действия двухкамерного энергоузла.

Энергоузел установки по новому способу [6] содержит поршень 1 со штоком 2, на нижнем торце которого смонтирован инструмент 3 (рис. 3.10). Поршень 1 со штоком 2 установлены в гильзу 4, закрытую с торца крышкой 5, образуя с помощью уплотнителей на поршне 1 (не показаны) две герметичные полости: штоковую 6 и бесштоковую 7. На крышке 5 и в донной части гильзы 4 смонтированы электросвечи 8, 9 поджига горючей смеси.

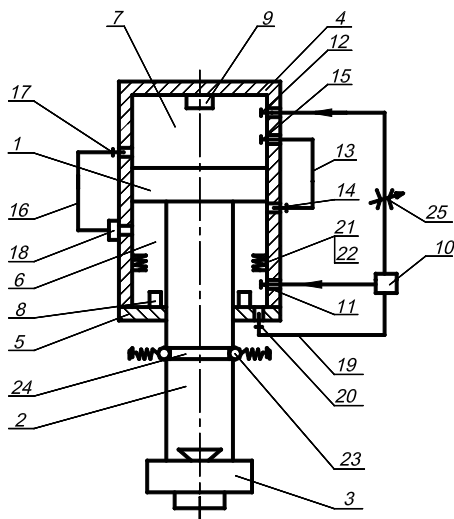


Рис. 3.10. Принципиальная схема для заправки компонентов энергоносителя по обе стороны поршня

Для получения горючей смеси используют электролизер 10. Для наполнения полости 6 предусмотрен обратный клапан (ОК) 11, а для заполнения полости 7 предусмотрен ОК 12. Для перекачки горючей смеси из полости 6 в полость 7 предусмотрена линия 13 с обратными клапанами 14, 15. Для отвода конденсата из полости 7 в полость 6 используется линия 16 с ОК 17 и с форсункой 18. Для отвода конденсата из полости 6 в электролизер 10 используется линия 19 с ОК 20. Для предотвращения удара поршня 1 по крышке 5 на боковой поверхности штоковой полости 6 смонтированы ограничители хода 21 с пружинными амортизаторами 22. Фиксация штока 2 в верхнем положении осуществляется с помощью подпружиненных шариков 23, которые защелкиваются в кольцевую проточку 24. Для обеспечения первоочередного заполнения полости 6 по отношению к полости 7 на линии электролизера 10, связанной с полостью 7, смонтирован регулируемый дроссель 25.

При подключении к источнику напряжения (на рис. 3.10 не показан) электролизера 10 в последнем вырабатывается горючая смесь ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ), которая через ОК 11 поступает в штоковую полость 6. Под действием давления гремучей смеси ударные части (поршень 1, шток 2, инструмент 3) перемещаются в крайнее верхнее положение до момента, когда подпружиненные шарики 23 защелкнутся в кольцевую проточку 24. Дальнейшая закачка энергоносителя в штоковую полость 6 приводит к повышению давления в ней до заданного значения. В результате ОК 11 закрывается и открывается ОК 12, через который продолжается закачка энергоносителя в бесштоковую полость 7. При достижении заданного давления в бесштоковой полости 7 следует команда на отключение электролизера 10 (схема управления на рис. 3.10 не показана) и подача энергоносителя прекращается.

После отключения электролизера 10 поступает команда на поджиг энергоносителя в штоковой полости 6 с помощью свечей поджига 8 (рис. 3.11).

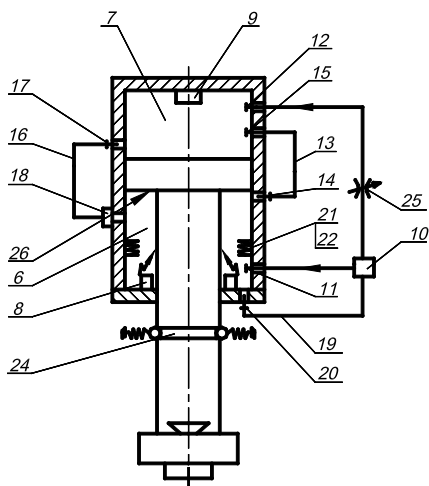


Рис. 3.11. Схема местного поджига энергоносителя под поршнем, обеспечивающая поступательное распространение (снизу вверх) фронта горения энергоносителя

При этом свечи, смонтированные в донной части штоковой полости 6 (на крышке 5), обеспечивают местное (локальное) возгорание энергоносителя, которое сопровождается формированием плоского фронта горения, перемещающегося по длине штоковой полости 6 со скоростью 34 м/с в сторону несгоревшего энергоносителя [5]. При этом распространяющийся фронт горения (пламени) действует аналогично поршню, адиабатически сжимая энергоноситель в штоковой полости 6.

При адиабатическом сжатии несгоревшего энергоносителя давление в штоковой полости 6 повышается примерно в 10 раз, в результате чего непрореагировавший энергоноситель закачивается из штоковой полости 6 в бесштоковую полость 7, при этом, вследствие преодоления сопротивления подпружиненных шариков 23, параллельно осуществляется смещение поршня 1 в сторону уменьшения объема в бесштоковой полости 7, что приводит к дополнительному сжатию гремучей смеси в пространстве над поршнем 1.

Закачка горючей смеси производится по линии 13 (см. рис. 3.11) при открытых клапанах 14 и 15. Линии 16 и 19 в этот промежуток времени перекрываются (схемы перекрытия линий 16 и 19 на рис. 3.11

не показаны). В момент времени, когда подвижный фронт горения достигает поверхности 26 поршня 1, перекачка энергоносителя из штоковой полости 6 в бесштоковую полость 7 по линии 13 завершается, поршень 1 прекращает свое движение вверх и в этот же момент времени производят поджиг энергоносителя в бесштоковой полости 7 (рис. 3.12).

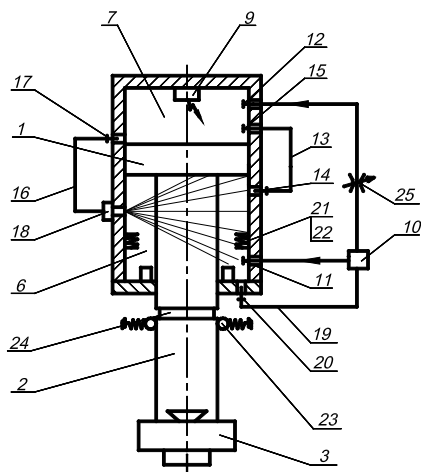


Рис. 3.12. Схема поджига энергоносителя над поршнем с впрыском конденсата под поршень

За счет повышения давления в бесштоковой полости 7 закрывается ОК 15, открывается ОК 17, через который происходит подача конденсата в линию 16 и к форсунке 18, с помощью которой мелко распыленная струя конденсата впрыскивается в штоковую полость 6. При подаче под давлением мелко распыленной струи конденсата в штоковую полость 6, заполненную перегретым паром, вносится большое количество центров конденсации, что способствует резкому отводу теплоты от перегретого пара. Поскольку процесс снижения температуры перегретого пара в штоковой полости 6 протекает без изменения его объема, т. е. является изохорным, то в этом случае соотношение между температурой  $T$  и давлением  $P$  имеет вид



$$\frac{P_1}{\dot{Q}_1} = \frac{P_2}{\dot{Q}_2}, \quad (3.2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – начальное и конечное давление в штоковой полости;

$T_1$  и  $T_2$  – начальная и конечная температуры в штоковой полости.

Из соотношения (3.2) следует, что конечное давление в штоковой полости  $P_2$  будет

$$P_2 = P_1 \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1}. \quad (3.3)$$

Анализ выражения (3.3) показывает, что при резком снижении конечной температуры  $T_2$  резко снижается давление  $P_2$ , оптимальная величина которого доводится до значения давления разрежения [5]. Создание такого значения давления в штоковой полости  $6$  и обеспечение его воздействия на эффективную кольцевую площадь поршня  $1$ , совпадающего на всем пути разгона и деформации с направлением действия давления гремучей смеси, сгоревшей в бесштоковой полости  $7$ , создает условия для эффективного и беспрепятственного разгона поршня  $1$ , штока  $2$  с инструментом  $3$ . Линия  $19$  с ОК  $20$  в этот промежуток времени перекрываются.

В момент полного вытеснения конденсата из штоковой полости  $6$  линия  $19$  и клапан  $20$  закрываются (см. рис. 3.10) и далее последовательность осуществления операции повторяется.

Использование изобретения позволяет мгновенно и беспрепятственно оказывать резкое силовое воздействие рабочего тела (газа) на всю площадь поперечного сечения поршня в бесштоковой полости и обеспечивать инструменту (ножу) заданную кинетическую энергию в момент соударения с заготовкой, что приводит к повышению коэффициента полезного действия удара на 10–15 % и повышению качества реза за счет уменьшения зоны скола на отрезанных торцах.

### 3.7. Гибка деталей

Многие детали корпуса, как листовые, так и профильные, приходится подвергать гибке. Общее число гнутых листовых деталей составляет 10–16 %, профильных – 4–6 %, а трудоемкость их гибки – соответственно около 32 и 7 % общей трудоемкости изготовления деталей.

По форме и сложности кривизны листовые и профильные детали корпуса разделяют на 13 групп (рис. 3.13). Листовые детали с погибью в одном направлении (цилиндрической или конической формы) относятся к деталям с простой кривизной, с погибью в двух направлениях – к деталям со сложной (двойкой) кривизной. Классификация форм деталей дает возможность разработать типовые технологические процессы гибки применительно к принятому гибочному оборудованию.

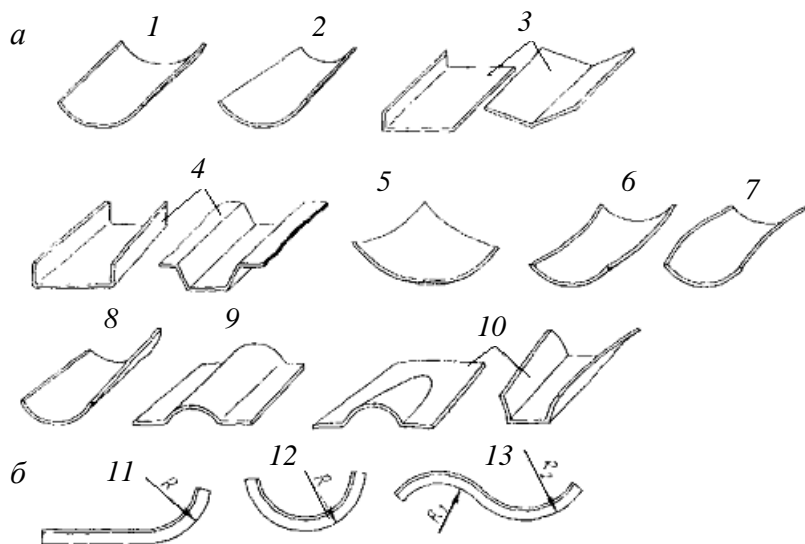


Рис. 3.13. Типовые формы гнутых деталей:

*a* – листовые детали; *б* – профильные детали;

1 – цилиндрические; 2 – конические; 3 – угловые; 4 – коробчатые, включая гофрированные; 5 – сферические; 6 – парусовидные; 7 – седлообразные;

8 – веерообразные; 9 – волнообразные; 10 – комбинированные;

11, 12, 13 – соответственно переменной, постоянной и знакопеременной кривизны

При разработке технологических процессов гибки возникает необходимость в расчете усилий, пружинения, предельно допустимых радиусов гибки и в решении некоторых других вопросов. Ответы на них могут быть получены на основе рассмотрения теоретических основ пластического изгиба.

Для определения параметров пластического изгиба зависимость между напряжениями и деформациями принимают в соответствии с диаграммой истинных напряжений (штриховая линия на рис. 3.14, а), получаемой по результатам испытания образцов на растяжение. На таких диаграммах напряжение определяется отношением усилия к действительной площади поперечного сечения образца в момент деформации (а не к начальной площади, как обычно). По оси абсцисс откладывают относительное удлинение  $\delta$  (рис. 3.14, б), относительное сужение  $\psi$  или истинную относительную деформацию  $e$  (рис. 3.14, а), определяемую по формуле

$$a = \int_{l_0}^{l_x} \frac{dl_x}{l_x} = \ln \frac{l_x}{l_0} = \ln \frac{l_0 + \delta l}{l_0} = \ln(1 + \delta),$$

где  $l_x$  – длина образца в фиксированный момент деформации;  
 $l_0$  – начальная длина образца.

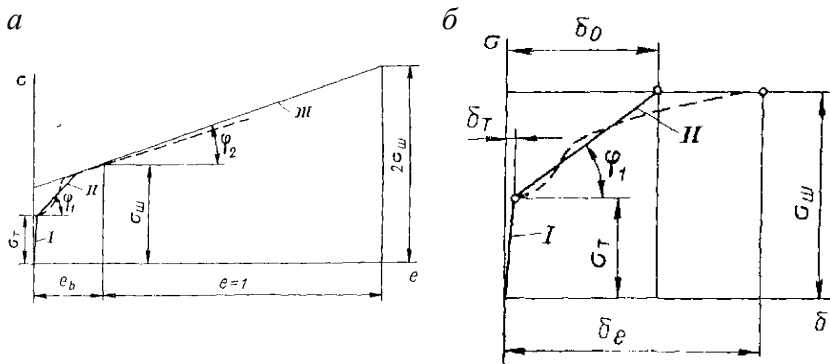


Рис. 3.14. Диаграммы истинных напряжений углеродистых конструкционных сталей:

---- действительная кривая; — аппроксимированная кривая;  
 $e_b$  – истинная относительная деформация, соответствующая моменту появления шейки при растяжении образца

Для упрощения математических зависимостей диаграмму истинных напряжений можно, линейно аппроксимируя, представить в виде ломаной линии (сплошная линия на рис. 3.14) из трех прямолинейных участков: I – упругих, II – небольших пластических деформаций, характеризующихся интенсивным упрочнением, и III – значительных пластических деформаций. Участки I и II соответствуют линейному изгибу бруса (учитываются только тангенциальные напряжения), участок III – объемному.

Наклон прямых II и III определяется тангенсами  $\text{tg } \varphi_1$  и  $\text{tg } \varphi_2$ , которые характеризуют интенсивность упрочнения материала при пластической деформации и называются модулями упрочнения  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . Для углеродистых сталей первые два участка диаграммы истинных напряжений целесообразно принять по рис. 3.14, б, тогда

$$\dot{\epsilon}_1 = \text{tg} \varphi_1 \approx \frac{\sigma_\sigma - \sigma_\delta}{\delta_0} = \frac{\sigma_\sigma - \sigma_\delta}{\Delta \delta_b},$$

где  $\sigma_\sigma$  – истинное напряжение, соответствующее наибольшей равномерной относительной деформации (моменту появления шейки при растяжении образца);

$\delta_b$  – соответствующее относительное удлинение;  
коэффициент

$$a = \delta_0 / \delta_b \approx 0,5.$$

По рис. 3.14, а находим

$$\dot{\epsilon}_2 = \text{tg} \varphi_2 = \sigma_\sigma.$$

Отношение

$$k_0 = \Pi_1 / \sigma_\tau$$

называется *относительным модулем упрочнения*. Для стали ВСТЗ  $k = 11,6$ , для сталей 10ХСНД и 09Г2  $k_0 = 14$ .

Пластический изгиб начинается с момента возникновения пластических деформаций в крайних тангенциальных волокнах изгибаемого бруса. С увеличением изгибающего момента зоны

пластических деформаций распространяются к середине бруса и в пределе соединяются у его нейтральной оси. Соответственно при чистом (постоянный изгибающий момент по длине бруса) пластическом изгибе возможны три случая (при последовательной гибке одного и того же бруса – стадии):

1. **Упругопластический изгиб** происходит при относительном радиусе  $r > 200$  мм, что соответствует значительной упруго-деформированной зоне (рис. 3.15, а). Зависимость  $\sigma(\delta)$  отвечает участку I и началу участка II диаграммы на рис. 3.14.

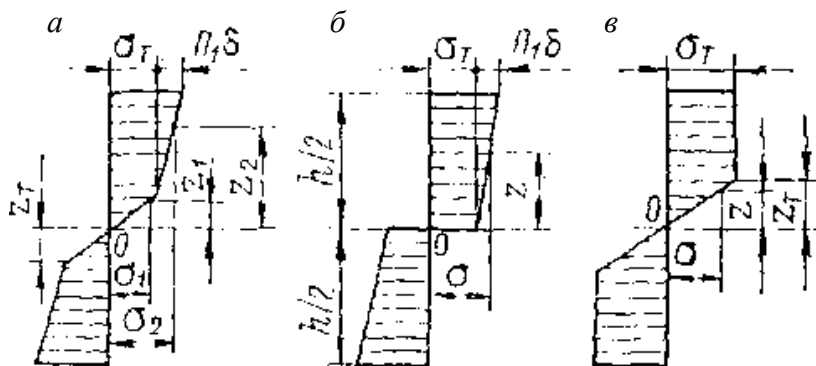


Рис. 3.15. Эпюры тангенциальных напряжений при пластическом изгибе бруса

Под *относительным радиусом* принято понимать отношение радиуса изгиба  $R$  к начальной высоте  $h$  бруса:

$$r = R/h.$$

2. **Линейный чисто пластический изгиб** соответствует изгибу на средние относительные радиусы  $r$  от 3–5 до 200 мм. Напряженно-деформированное состояние принимают линейным, учитывая только тангенциальные напряжения и деформации, соответствующие участку II диаграммы (см. рис. 3.14). Упругая зона в сечении бруса мала, и ею можно пренебречь, считая все сечение бруса деформированным пластически (рис. 3.15, б).

3. **Объемный чисто пластический изгиб** происходит при  $r \leq 3-5$  и характеризуется значительными пластическими деформациями

(увеличивается длина бруса, уменьшается и искажается его поперечное сечение). Тангенциальные напряжения соответствуют III участку (рис. 3.14, а).

Для линейного чисто пластического изгиба (см. рис. 3.15, б) зависимость  $\sigma(\delta)$  можно принять по II участку диаграммы, показанной на рис. 3.14. Выражая относительное удлинение  $\delta$  через радиус изгиба  $R$  бруса (по известной зависимости  $\delta = z/R$ ) и пренебрегая  $\delta_T$  ввиду его малости по сравнению с  $\delta_0$ , получаем

$$\sigma = \sigma_\delta + \ddot{I}_1 \delta = \sigma_\delta + \frac{\ddot{I}_1}{R} z.$$

Нейтральный слой в этом случае можно считать проходящим через центр тяжести поперечного сечения бруса, как симметричного, так и несимметричного. Тогда, принимая эпюру тангенциальных напряжений по рис. 3.15, б, для бруса переменной ширины  $b_y$  получаем уравнение изгибающего момента внутренних сил:

$$\dot{I} = 2\sigma_\delta \int_0^{h/2} b_y z dz + 2 \frac{\ddot{I}_1}{R} \int_0^{h/2} b_y z^2 dz = \sigma_\delta S + \frac{\ddot{I}_1}{R} J = \left( \frac{S}{W} + \frac{\ddot{I}_1}{2\sigma_\delta R} \right) W \sigma_\delta,$$

где  $S$ ,  $W$  и  $J$  – моменты: статический, сопротивления и инерции поперечного сечения бруса.

В общем виде изгибающий момент удобно представить так:

$$M = mW\sigma_\delta; \quad (3.4)$$

здесь  $m$  – относительный изгибающий момент, в данном случае составляющий

$$m = \frac{S}{W} + \frac{\ddot{I}_1}{2\sigma_\delta R} \frac{h}{R} = \frac{S}{W} + \frac{\ddot{I}_1}{2r\sigma_\delta} = k_1 + \frac{k_0}{2r},$$

где  $k_1 = S/W$  зависит только от формы поперечного сечения и называется коэффициентом профиля (для прямоугольного бруса  $k_1 = 1,5$ , для полособульба – 1,6, двутавра и швеллера – 1,2);

$k_0$  – относительный модуль упрочнения.

При чистом упругопластическом изгибе для прямоугольного бруса ( $r > 200$  мм, эпюра напряжений – по рис. 3.15, а) относительный изгибающий момент будет

$$m = 1,5 - 2r^2 \left( \frac{\sigma_{\delta}}{E} \right)^2 + \left[ \frac{1}{r} - 3 \frac{\sigma_{\delta}}{E} + 4r^2 \left( \frac{\sigma_{\delta}}{E} \right)^3 \right] \frac{k_0}{2}. \quad (3.5)$$

В связи с относительной сложностью этого уравнения многочленом, стоящим в квадратных скобках, можно пренебречь (погрешность до 2 %). Значение  $m$  при этом соответствует эпюре напряжений на рис. 3.15, в (упругопластический изгиб без упрочнения).

Однако технологические процессы гибки обычно осуществляются посредством не чистого, а поперечного изгиба – сосредоточенной силой, приложенной посередине бруса, лежащего на двух опорах. При этом на брус действуют переменный изгибающий момент и перерезывающая сила, вызывающая касательные напряжения.

При поперечном изгибе следует рассматривать два случая:

а) **при большом расстоянии между опорами** ( $L > 5h$ ) касательные напряжения можно не учитывать, принимая зависимости, полученные для чистого изгиба. Кривизна бруса  $1/r = M/EJ$ , следуя за изменением изгибающего момента, также меняется по длине бруса. Ее можно определить, принимая значения  $M$  по формуле (3.4) в зависимости от интервалов значений  $r$ .

Исследования показали, что независимо от профиля пуансона в средней части брус изгибается равномерно по так называемому радиусу свободного изгиба. Значение его можно определить по эмпирической формуле (справедлива до  $r \geq 10$  мм)

$$r_{\text{а}} = \frac{c}{\beta} \left[ 17 + \left( \frac{l}{2} \right)^2 - l \right],$$

где  $\beta$  – угол изгиба в градусах;

$c = 3,2-4,5$  – коэффициент, зависящий от материала бруса;

$l = L/h$  – относительное расстояние между опорами.

Соответствующая этому участку относительная длина дуги (отношение длины дуги к высоте бруса)

$$s = \pi \frac{c}{180} \left[ 17 + \left( \frac{l}{2} \right)^2 - l \right].$$

Наибольшее усилие изгиба бруса соответствует изгибу на угол  $\beta = 30-60^\circ$ ;

б) **при малом расстоянии между опорами** ( $L < 5h$ ) касательные напряжения могут оказывать существенное влияние на характер деформации бруса. Значения  $P$  ограничиваются при линейном пластическом изгибе величиной

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{k_0}{4r} \right) F \sigma_{\delta}.$$

Гибка деталей сопровождается упругими деформациями, которые по ее окончании исчезают. Вследствие этого угол изгиба увеличивается на величину угла пружинения  $\Delta\alpha$ . Относительный радиус изгиба  $r$  бруса до пружинения (радиус инструмента) возрастает до значения  $r_0$  после пружинения. При линейном пластическом изгибе эти величины составляют

$$\Delta\alpha = 2m \frac{\sigma_{\delta}}{E} r\alpha;$$

$$r_0 = \frac{r}{1 - 2mr \frac{\sigma_{\delta}}{E}};$$

$$r = \frac{r_0}{1 + 2mr_0 \frac{\sigma_{\delta}}{E}}.$$



Значение  $r_0$  должно соответствовать готовой детали. Для малоуглеродистой стали в интервале значений  $r = 5-200$  мм соотношение между  $r_0$  и  $r$  таково:

|       |      |      |      |      |     |     |     |
|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $r$   | 5    | 10   | 25   | 50   | 100 | 150 | 200 |
| $r_0$ | 5,15 | 10,5 | 27,8 | 77,7 | 155 | 317 | 662 |

Относительные тангенциальные деформации удлинения  $\varepsilon_p$  и сжатия  $\varepsilon_{\bar{n}\bar{a}e}$  крайних слоев изгибаемого бруса можно найти из известной зависимости

$$\varepsilon = z/\rho,$$

где  $\rho$  – радиус нейтрального слоя.

$$\varepsilon_p = \frac{R_{\bar{r}} - \rho}{\rho}; \quad \varepsilon_{\bar{n}\bar{a}e} = \frac{R_{\hat{a}} - \rho}{\rho},$$

где  $R_{\bar{n}}$  – наружный и  $R_{\bar{b}}$  – внутренний радиусы кривизны.

Учитывая, что

$$R_{\bar{n}} = R_{\bar{b}} + h$$

и

$$\rho = R_{\bar{b}} + xh,$$

где  $x = f(r)$  – коэффициент, определяющий расстояние от внутреннего радиуса изгиба до нейтрального слоя, получаем

$$\varepsilon_p = \frac{h - xh}{R_{\hat{a}} + xh};$$

$$\varepsilon_{\bar{n}\bar{a}e} = \frac{xh}{R_{\hat{a}} + xh}.$$

При  $t = 1$   $x = 0,38$ . Для  $r \geq 6$  можно считать нейтральный слой проходящим посередине изгибаемого бруса и  $x \approx 0,5$ . В этом случае

$$\varepsilon_{\delta} = \varepsilon_{\bar{n}\bar{a}\bar{e}} = \frac{h}{2R_{\bar{a}} + h}. \quad (3.5)$$

Минимально допустимые радиусы гибки устанавливают на основании двух соображений:

– для ответственных деталей, у которых (по условиям прочности конструкции) не допускается снижение механических свойств материала, – исходя из условия исключения наклепа. Практически наклепом можно пренебречь при относительной деформации в крайних волокнах меньше 5 %. Подставляя значение  $\varepsilon \leq 5 \%$  в уравнение (3.19), получаем  $R_{\min} \approx 10h$ ;

– для остальных деталей – из условия отсутствия разрушений (нарушения прочности) материала – по приближенным формулам

$$R_{\max} = \frac{1 - 2\Psi_{\max}}{2_{\max}} h; \quad (3.6)$$

$$R_{\min} = \frac{1 + 2\Psi_{\max} - 2}{2(1 - \Psi_{\max} - t)} th, \quad (3.7)$$

где  $\Psi_{\max}$  – максимальное относительное поперечное сужение;

$t = h_1/h$  – коэффициент утонения материала ( $h_1$  – толщина бруса после деформации), меняющийся в пределах от 0,936 при  $r = 0,5$  мм и до 1,0 при  $r = 8$  мм.

Формула (3.7) относится к большим пластическим деформациям (соответствующим участку III на рис. 3.14).

Если гибка выполняется по радиусу, меньшему минимально допустимого, то необходим термический отпуск для восстановления механических свойств материала. Полагая в формуле (3.5)  $\varepsilon = 0,002$ , что соответствует значению  $\sigma_T$  для судостроительных сталей, получаем приближенное значение максимально возможного радиуса пластического изгиба:  $R_{\max} \leq 250h$ .

Более точное решение получим из уравнения (3.6). Положив в нем  $m = 1$  и опустив последний многочлен, что отвечает границе с упругим изгибом, находим

$$R_{\max} \leq \frac{E}{2\sigma_0} h.$$

В настоящее время в судостроении технологические процессы гибки в основном выполняют в холодном состоянии или с применением местных нагревов. Горячую гибку с общим нагревом заготовок применяют в исключительных случаях, например, при необходимости согнуть деталь на радиус, меньший предельно допустимого.

Основными способами формообразования деталей корпуса являются гибка, штамповка и обтяжка. Штамповка из-за незначительного количества одинаковых деталей применяется очень ограниченно. Обтяжка также применяется в небольшом объеме при постройке корпусов малых судов из легких сплавов. Таким образом, подавляющий объем работ приходится на гибку. В связи с этим под термином «гибка» в судостроении обычно подразумевают и остальные способы формообразования, что является условным.

Гибка поперечным изгибом (свободная) и в упор (гибка-штамповка) выполняется на гидравлических и механических прессах, валковых листогибочных машинах, на станках типа ЛГС, а при консольно приложенном усилии – на фланцегибочных станках, гибка раскаткой – на станках типа ЛГС.

В валковых листогибочных машинах гибку листов производят путем непрерывной прокатки заготовки между вращающимися валками с одновременным воздействием изгибающего момента, вызванного сосредоточенной силой (поперечный изгиб). В результате заготовка получает цилиндрическую, а при прокатке по отдельным участкам – коническую форму. Применяя прокладки или раскатку, на валковых машинах можно гнуть также детали парусовидной, седлообразной и более сложных форм при небольшой стрелке продольной и поперечной погиби.

По количеству валков листогибочные машины разделяют на трех- и четырехвалковые (рис. 3.16).

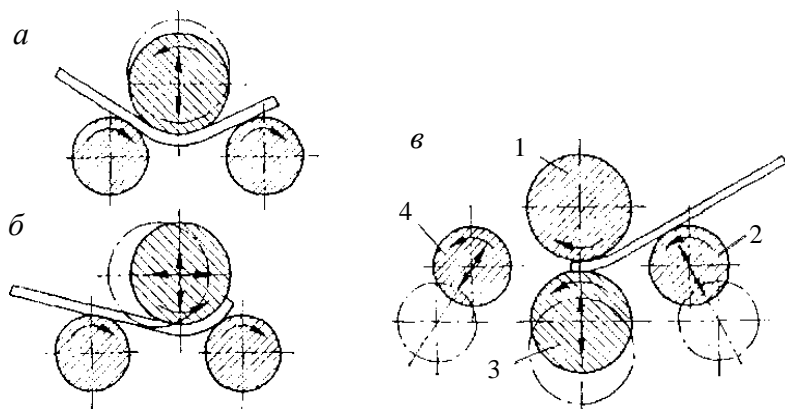


Рис. 3.16. Листогибочные машины:

- a* – трехвалковые с верхним валком, перемещающимся вертикально;  
*б* – перемещающимся вертикально и горизонтально; *в* – четырехвалковые машины;  
 1 – верхний валок; 2 и 4 – боковые валки; 3 – нижний валок

По методу закрепления верхнего валка машины бывают открытого и закрытого типов. У машин открытого типа верхний валок вращается в двух концевых подшипниках, один из которых делается откидным. Это позволяет гнуть замкнутые цилиндрические и конические детали и снимать их, сдвигая вдоль верхнего валка при откинутом подшипнике.

Машины закрытого типа имеют промежуточные роликовые опоры верхнего валка, закрепленные на верхней подвижной траверсе. Как правило, машины закрытого типа изготовляют большой мощности со значительной длиной рабочей части валков (до 17 м).

При изготовлении листов цилиндрической и конической формы в машинах типа показанной на рис. 3.16, *a* необходима подгибка кромок листов. Она производится на гидравлическом прессе или на вальцах при помощи подкладного листа или клиновой прокладки. На машинах типа показанных на рис. 3.16, *б* и *в* подгибку кромки можно выполнять перемещением валков.

Предельно допустимую толщину  $s$  листов шириной  $b$  с пределом текучести  $\sigma_{\text{т}}$  по известным паспортным данным  $s_{\text{п}}$ ,  $b_{\text{п}}$ ,  $\sigma_{\text{т.п}}$ , как гибочных, так и правильных валковых машин, определяют из условия равенства изгибающих моментов:

$$M = mW\sigma_T$$

и

$$M_{\Pi} = m_{\Pi}W_{\Pi}\sigma_{T,\Pi}$$

при пластическом изгибе этих листов. Выражая  $W$  через размеры поперечного сечения листа, учитывая отношение  $b/b_{\Pi}$  и наличие опорных роликов у гибочных или правильных валков коэффициентом  $k$ , получаем

$$s = ks_{\Gamma} \sqrt{\frac{m_{\Gamma} \sigma_{\delta,\Gamma} b_{\Gamma}}{m \sigma_{\delta} b}}$$

Для машин без опорных роликов коэффициент  $k$  имеет следующие значения:

|                |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $b/b_{\Gamma}$ | 1,0 | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,1  |
| $k$            | 1,0 | 0,97 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,84 | 0,82 | 0,80 | 0,79 |

На гидравлических прессах могут быть изогнуты листы всех типов, однако их целесообразно применять для листов сложной погиби, которые не могут быть согнуты на валковых машинах (гибка на последних менее трудоемка). Развиваемые консольными прессами усилия обычно составляют 2000–4000 кН, но есть и порталные прессы с усилиями 20000, 30000 и даже 100000 кН. Прессы представляют собой крупнейшее оборудование корпусообработывающих цехов и имеют массу, достигающую нескольких сот тонн. Холодная гибка листов осуществляется с помощью наборов различных штампов, в основном универсальных, имеющих сменный комплект матриц и пуансонов (рис. 3.17). Нужную форму листа получают последовательным обжимом заготовки в направлении от одной кромки к другой. Для поддержания заготовки и ее перемещения прессы оборудуют местными кранами.

На крупнейших прессах используют специальные тележки-манипуляторы (рис. 3.18). Управление такими прессами автоматизировано.

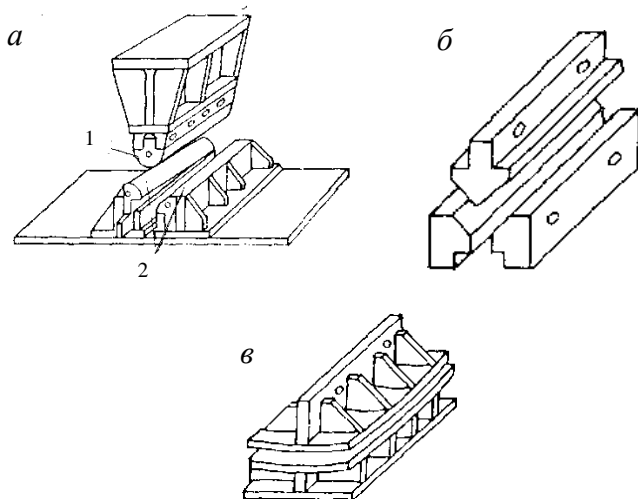


Рис. 3.17. Универсальный штамп для гибки листов:  
*a* – гидравлический пресс; *б* – угловой и *в* – парусовидный комплекты штампов;  
 1 – пуансон и 2 – матрица цилиндрического комплекта штампов

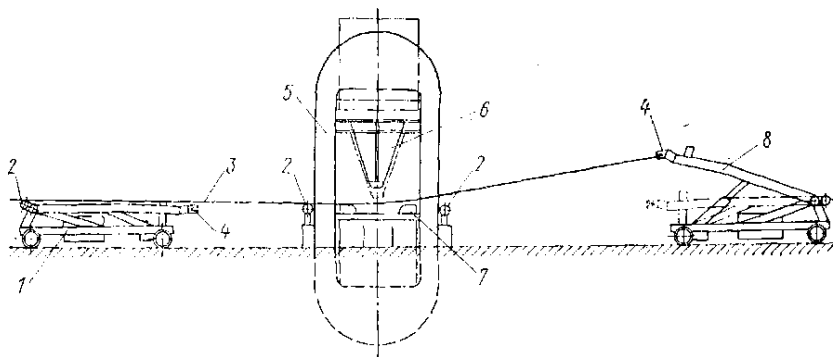


Рис. 3.18. Схема гибочного гидравлического пресса портального типа  
 с подачей листа тележками-манипуляторами:  
 1 – тележка-манипулятор в сложенном положении; 2 – опорные ролики;  
 3 – изгибаемый лист; 4 – захват тележки-манипулятора; 5 – станина пресса;  
 6 – сменный пуансон; 7 – сменная матрица; 8 – распрямленная  
 тележка-манипулятор

Кромкогибочный пресс (рис. 3.19) имеет плоский ползун 1, движущийся возвратно-поступательно. К нему прикреплены сменные пуансоны различной формы. Максимальное усилие – до 1000 тс, число ходов – 20–30 в минуту. Глубина погружения пуансона в матрицу 2 регулируется с помощью специального привода и винтовых шатунов 3. На этих прессах можно изготавливать детали 4 угловой формы, отгибать фланцы и гнуть листы различной формы.

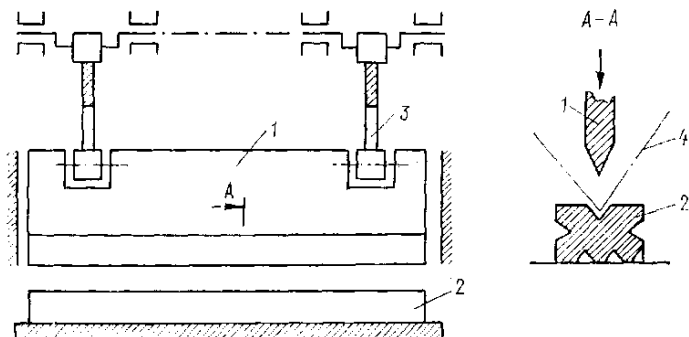


Рис. 3.19. Схема кромкогибочного пресса

Для отгибки фланцев применяют также фланцегибочные станки. Лист зажимают между столом и траверсой. К выступающей на ширину фланца полосе листа консольно прикладывают усилие с помощью поворотной рамы или накатывающегося вала.

На станках типа ЛГС (рис. 3.20) производят гибку листов разнообразной формы, прокатывая их между нажимным диском 3 и ведущим роликом 1 с угловым и радиусным ручьями и с цилиндрической частью. Диск передает на лист 2 сосредоточенное регулируемое усилие.

Сущность гибки листов местными нагревами заключается в нагреве участка 2 листа источником 1 на половину его толщины (рис. 3.21, а). Расширяющийся металл, встречая сопротивление окружающей холодной зоны, испытывает пластические деформации сжатия. При последующем охлаждении возникают усилия  $F$ , стягивающие прилегающие зоны и приводящие к изгибу листа. При нагреве листа перемещающимся источником по параллельным линиям 3 (рис. 3.21, б) он приобретает цилиндрическую форму, а при секторном (по расходящимся прямым) – коническую.

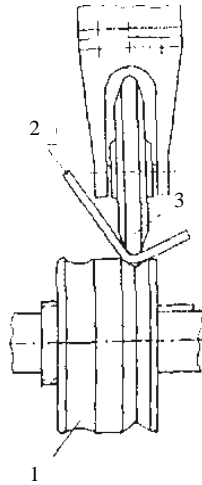


Рис. 3.20. Схема гибки листа на станке типа ЛГС

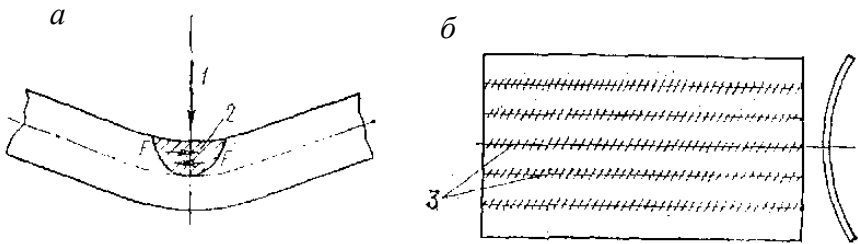


Рис. 3.21. Гибка листов местными нагревами

Для гибки листов двоякой кривизны дополнительно нагревают в перпендикулярном направлении те участки листа, на которых надо добиться сокращения длины волокон. Для ускорения процесса рекомендуется предварительно изгибать листы по цилиндрической поверхности на валковых машинах, прикладывая к кромкам листов изгибающие моменты или применять одновременный нагрев несколькими источниками, расположенными на общем передвигающемся вдоль листа портале.

Штамповка заключается в придании листу пространственной формы с помощью жесткого пуансона, который по всей поверхности вдавливают лист в сопряженную матрицу. Так как количество



одинаковых деталей в составе корпуса невелико, применение штамповки сопряженными пуансоном и матрицей нецелесообразно.

Гибка профильных деталей может осуществляться с помощью различных видов оборудования. При свободной гибке поперечным изгибом на горизонтальных гибочных прессах типа «Бульдозер» (рис. 3.22) изгибаемый профиль 3 опирается на опоры 2, закрепленные на траверсе 1, и изгибается толкателем 4. Настройка пресса на гибку по требуемому радиусу производится изменением хода толкателя при помощи клина 5, изменением расстояния между опорами винтом 6 и перемещением траверсы с помощью червячных пар 7 и винтов 8. На прессе обычно гнут бимсы, продольный набор, шпангоуты с небольшой кривизной (до 100 мм/м), а также правят профили (устраняют и сварочные деформации).

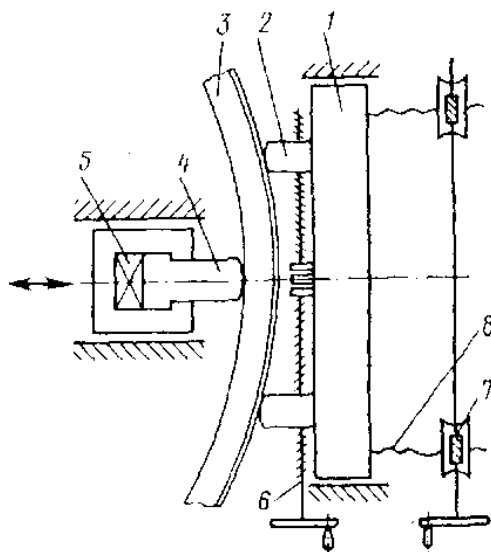


Рис. 3.22. Схема горизонтального гибочного пресса типа «Бульдозер»

На кольцегибочных станках (рис. 3.23) в основном гнут заготовки с постоянной кривизной, хотя кривизна может быть и переменной и знакопеременной. Гибка осуществляется путем неоднократной прокатки заготовки 3 между ведущими 6 и нажимным 2 валками при постепенном увеличении нажима. Для

предупреждения потери устойчивости при гибке на стенку (если отношение высоты стенки к ее толщине более 7,5) иногда применяют локальный нагрев заготовки индукторами 1 ТВЧ. В этом случае гибка обычно выполняется за один проход. С помощью струи воды 5 сужается зона локального нагрева 4 заготовки и может производиться закалка последней.

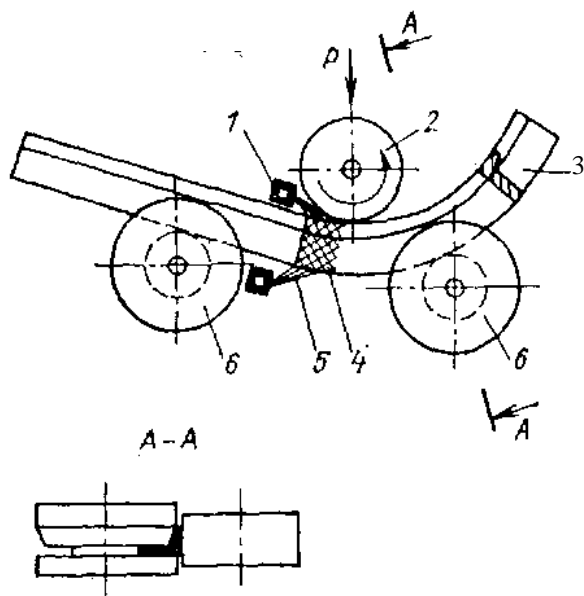


Рис. 3.23. Кольцегибочный станок  
(с нагревательным и закалочным устройствами)

Профили можно гнуть также на станке ЛГС путем раскатки волокон на цилиндрической части ведущего ролика, а также на гидравлическом прессе в упор и свободной гибкой в специальных штампах.

Автоматизированная гибка профилей возможна на станках с ЧПУ, конструкция которых разрабатывается.

### 3.8. Корпусообработывающий цех

Детали корпусов судов изготавливают в корпусообработывающем цехе (КОЦ), в который обычно входят следующие производственные подразделения:

1) **плаз**, включающий участок плазоворазметочных работ, фотолабораторию, участок изготовления шаблонов и склад шаблонов; архив для хранения чертежей, копирчертежей и пр. В помещении плаза обеспечивается температура воздуха не менее 18–20 °С при относительной влажности 65–70 %, хорошая освещенность (200–400 лк), вытяжная вентиляция;

2) **склад стали**, располагаемый обычно на открытой площадке в непосредственной близости от КОЦ. Стальные листы хранят в горизонтальном положении, причем для каждого типоразмера листов с учетом марки материала отводят закоординированное место. Разгрузку железнодорожных платформ и укладку металла на штатные места выполняют козловыми или мостовыми кранами. Наиболее широко применяют козловые краны грузоподъемностью от 10 до 30 т с траверсами, несущими от 18 до 30 электромагнитов. Расстояние между рельсами козловых кранов составляет от 32 до 80 м при длине консольных частей моста до 8–10 м, что позволяет обслужить краном склад стали по всей его ширине.

Склад стали рассчитывают на одновременное хранение металла в объеме 1,5–2-месячного его расхода. Площадь его определяют в зависимости от количества типоразмеров и марок стали листов (на заводах I и II классов – 150–200, на остальных – до 80–100) и профилей, одновременно хранящихся на складе стали.

Приближенно площадь склада определяют по формуле

$$s = \frac{Q}{q},$$

где  $Q$  – масса хранимого запаса стали;

$q$  – средняя удельная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> площади склада, которая зависит от годовой программы цеха и количества типоразмеров листовой и профильной стали. Она составляет 2,5–3,0 т/м<sup>2</sup> на заводах I и II классов и 1,2–1,8 т/м<sup>2</sup> – на остальных;

3) **участок предварительных операций**, располагаемый в здании самого КОЦ или в отдельном здании. Он предназначен для правки, очистки и грунтовки листовой и профильной стали. На современных заводах их производят на механизированных и частично автоматизированных поточных линиях. В качестве примера на рис. 3.24 приведена планировка участка Б предварительных операций и непосредственно связанного с ним склада стали (участок А).

Стальные листы, хранящиеся на складе стали, козловым краном 1 укладывают на рольганг 4 и подают для правки к листо-правильной машине 8. По окончании правки листы сталкивают на расположенный рядом с рольгангом 4 стол, снимают с рольганга краном 5 с электромагнитной траверсой и укладывают на кантователь 6, поворачивающий лист из горизонтального положения в вертикальное и направляющий его на линию 9 дробеметной очистки и грунтовки. По выходе из нее лист поступает в кантователь 38, который поворачивает его из вертикального положения в горизонтальное и для последующей обработки укладывает на рольганг 4 или на раскroечную раму, расположенную на трансбордерной тележке 11.

Профильный материал при необходимости правят на горизонтально-гибочном прессе 2 и по рольгангу 3 подают на линию 7 дробеметной очистки и грунтовки. После нее профили по рольгангу 3 передаются на последующую обработку. Листы и профили из алюминиево-магниевого сплава краном 5 укладывают на кантователь установки расконсервации 10, в которой они очищаются от бумаги и консервирующей смазки. По выходе из установки листы укладываются на рольганг 4 и подаются на дальнейшую обработку;

4) **корпусообрабатывающие участки**, состоящие из механизированных и частично автоматизированных поточных линий тепловой резки листов, механической резки листов, обработки профильного металла и линии обработки деталей из алюминиево-магниевого сплава.

Кроме того, имеются частично механизированные участки: гибочных работ, комплектовочный, обработки деталей для машиностроения и др.

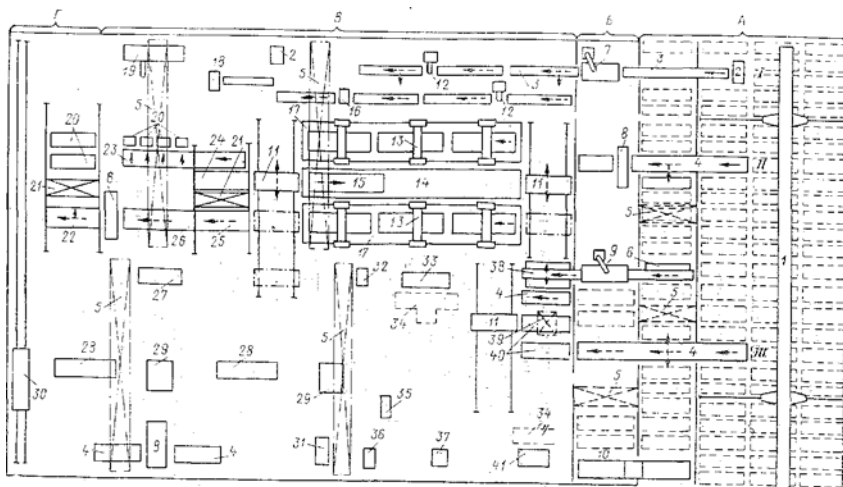


Рис. 3.24. Схема расположения оборудования корпусообработывающего цеха завода II класса с годовым выпуском стали 30000 т:

А – склад стали; Б – участок первичной обработки;

В – корпусообработывающие участки; Г – участок комплектации;

I, II и III – основные потоки подачи проката;

1 – козловой кран; 2 – горизонтально-гибочный пресс;

3 – ролюганг для профилей; 4 – ролюганг для листов; 5 – мостовой кран;

6 – односторонний кантователь для листов; 7 – линия очистки и грунтовки профилей; 8 – листопрямляющая валковая машина; 9 – линия очистки и грунтовки листов; 10 – установка расконсервации листов из алюминиево-магниевого сплава;

11 – трансбордерная тележка; 12 – пресс-ножницы; 13 – газорезательная машина;

14 – ролюганг возврата раскроечных рам; 15 – раскроечная рама; 16 – дисковая пила; 17 – комплексный агрегат газорезательной линии; 18 – профилегибочный пресс с ПУ; 19 – радиально-сверлильный станок; 20 – контейнер;

21 – погрузчик; 22–26 – ролюганги; 27 – кромкогибочный станок;

28 – листогибочная валковая машина; 29 – гидравлический пресс;

30 – самоходная тележка; 31 – вертикально-сверлильный станок;

32 – наждачный станок; 33 – гильотинные ножницы; 34 – площадка с шаровыми опорами; 35 – листогибочный станок типа ЛГС;

36 – гидравлический пресс; 37 – ленточно-пильный станок; 38 – двухсторонний кантователь листов; 39 – фотопроекционная установка; 40 – механизированные разметочные столы; 41 – гильотинные ножницы для резки легких сплавов

Листы и профили на поточных линиях передаются с одной операции на другую с помощью механизированных и частично автоматизированных средств, почти без применения кранового оборудования.

На линиях тепловой резки (см. рис. 3.24) раскроечная рама с уложенным на нее листом с помощью трансбордерной тележки 11 подается к одному из агрегатов 17, осуществляющих подачу рам с листами к машинам для тепловой резки. Далее раскроечная рама движется по его нижнему ярусу и, достигнув газорезательной машины 13, останавливается и с помощью гидравлических домкратов приподнимается до уровня резаков.

После резки листа рама опускается и, двигаясь по нижнему ярусу агрегата 17, поступает на трансбордерную тележку 11, а затем – на рольганг 24.

Вырезанные крупные детали погрузчиком 21 с электромагнитной траверсой подаются на рольганг 25, а оставшиеся мелкие детали – на рольганг 23, откуда пневматическими сталкивателями сбрасываются в контейнеры 20. Освободившаяся рама 15 по рольгангу 14 возвращается в исходное положение. Крупные плоские детали поступают на рольганг 26 и после правки на листопрямительной машине 8 – на рольганг 22. С него они снимаются погрузчиком с электромагнитной траверсой 21 и укладываются в контейнеры 20.

Листы, подлежащие гибке, передаются на гибочный участок в соседний пролет трансбордерной тележкой 11.

Стальные листы, подвергаемые механической резке, кантователем 38 передаются на рольганг 4 и с помощью трансбордерной тележки 11 – к разметочному столу 40 для фотопроекторной разметки на установке 39. После разметки листы тележкой 11 передаются для резки на гильотинные ножницы 33.

Листы из алюминий-магниевого сплава размечаются на втором столе 40 и с помощью трансбордерной тележки 11 передаются для резки на гильотинные ножницы 41.

Профили из алюминий-магниевого сплава размечаются, а затем обрезаются на ленточно-пильном станке 37.

Гибка листов производится в холодном состоянии с использованием листогибочных валковых машин 28, гидравлических прессов 29 и листогибочных станков 35 (типа ЛГС) или кромкогибочных 27.

Очищенный и загрунтованный профильный материал размечается и затем обрезается на пресс-ножницах 12 или дисковыми пилами 16, а также тепловой резкой. Обрезанные прямые профили

по рольгангам передаются на участок комплектации, а требующие гибки – к профилегибочному прессу 18 с программным управлением.

Детали, прошедшие процесс обработки, с помощью рольгангов и других механизированных средств или кранами направляются на участок комплектации. Комплектуются детали по технологическим комплектам: крупные (плоские и гнутые) – пачками, средние и мелкие листовые детали, а также профили – в контейнерах.

Расчет количества оборудования и числа работающих в цехе. Проектирование нового или реконструкция существующего КОЦ производится на основании задания на проектирование, в котором устанавливается программа цеха с указанием типов расчетных судов и их годового выпуска.

Расчетное количество  $n_i$  оборудования или  $m_i$  рабочих мест по  $i$ -й операции и количество занятых на ней рабочих  $p_i$  определяют по формулам

$$n_i = \frac{\dot{O}_s}{D_s \hat{O}_{\hat{i}}}; \quad (3.8)$$

$$\partial_s = \frac{\dot{O}_s}{D_s \hat{O}_{\partial \hat{i}}}; \quad (3.9)$$

$$D_s = \frac{\dot{O}_s}{D_s \hat{O}_{\partial}}, \quad (3.10)$$

где  $T_i$  – трудоемкость на годовую программу по  $i$ -й операции, н-ч;

$\Phi_0$  – действительный (расчетный) годовой фонд рабочего времени оборудования (число рабочих часов в году за вычетом потерь времени на ремонт);

$\Phi_{p, м}$  – годовой фонд времени рабочих мест;

$R_i$ , – средний состав бригады, принимаемый: на разметке, правке, механической резке, станочной гибке – по 2 чел.; при гибке на прессах – 3 чел., на тепловой резке и сверловке – по 1 чел.;

$\Phi_p$  – годовой фонд времени рабочих.

Трудоемкость  $T_i$  обычно укрупненно определяют по формуле

$$\dot{O}_3 = \frac{\dot{a}_3 \dot{O}}{100} = \frac{\dot{a}_3}{100} \sum t_j Q_j N_j,$$

где  $a_i$  – удельное значение трудоемкости  $i$ -й операции от полной трудоемкости  $T$ , %;

$t_j$  – удельная трудоемкость изготовления деталей для  $j$ -го типа судна, чел-ч/т;

$Q_j$  – масса корпуса, т;

$N_j$  – годовая программа постройки судов (судов/год)  $j$ -го типа.

Значение  $t_j$  принимается по близкому судну-прототипу и корректируется коэффициентами, учитывающими серийность постройки; изменение конструктивных элементов корпуса по сравнению с прототипом; повышение уровня автоматизации и механизации производства к моменту ввода в эксплуатацию проектируемого КОЦ и пр.

Все расчеты по КОЦ, как и по другим цехам верфи, выполняют, исходя из двухсменного режима работы, кроме уникального дорогостоящего оборудования, режим работы которого принимается трехсменным.

Полученное по формулам (3.8) и (3.9) расчетное количество оборудования  $n_i$  и рабочих мест  $m_i$  округляют до ближайшего большего целого – принятого количества  $n'_i$  и  $m'_i$ .

Отношения

$$\eta_i = \frac{n_i}{n'_i} \text{ и } \eta_{\text{д.з}} = \frac{m_i}{m'_i}$$

называют коэффициентами загрузки оборудования и рабочих мест.

Для максимального использования оборудования коэффициент его загрузки должен быть  $\eta_0 \geq 0,7$  (для уникального оборудования – близким к единице), для рабочих мест  $\eta_{\text{р.м}} \approx 0,9$ . Обычно расчет величин  $n_i$ ,  $m_i$  и  $P_i$  выполняется в табличной форме в соответствии с формулами (3.8)–(3.10).

Количество вспомогательного оборудования (рольганги, кантователи, погрузчики и другие виды подъемно-транспортного оборудования, плиты, стеллажи и пр.) определяется без расчета – в соответствии с требованиями технологического процесса.



Число вспомогательных рабочих определяется приблизительно в пределах 35–40 % от числа производственных, а более точно – расстановкой рабочих по рабочим местам.

Площадь цеха  $S$  определяется по формуле

$$S = \frac{1}{q_s} \sum Q_j N_j,$$

где  $q_s$  – годовой выпуск продукции с 1 м<sup>2</sup> площади, т/м<sup>2</sup>.

Окончательно площадь цеха определяют по плану расположения оборудования, при разработке которого для каждой единицы оборудования предусматривают площадь, необходимую для возможности работать на нем, а также площадки для заготовок, поступающих на обработку, и для хранения обработанных деталей перед подачей их на следующие операции.

При размещении оборудования цеха следует учитывать наличие вдоль стен и линий колонн пролетов так называемых мертвых пространств мостовых кранов, в пределах которых крановые операции производиться не могут. Их ширина составляет от 1,3 до 1,8 м от оси подкранового пути (для кранов грузоподъемностью от 5 до 15 т).

Общая площадь цеха (без бытовых и служебных помещений) состоит:

а) из производственной (60–70 % от общей) площади, занятой оборудованием, рабочими местами (верстаки, плиты и т. п.), проходами между ними, местами для хранения заготовок и комплектовочными площадями;

б) вспомогательной, к которой относят площадь, занятую центральными проездами, разгрузочными общецеховыми площадями, а также конторами и кладовыми, расположенными в пролетах цеха, что не рекомендуется.

Ширина пролетов КОЦ принимается равной 24 или 30 м, а на заводах мелкого судостроения – 18 м. Высота цеха определяется высотой до подкрановых путей, которая в зависимости от максимальной высоты оборудования, габаритов обрабатываемых листов и профилей принимается равной 10 или 8 м – для заводов среднего и мелкого судостроения.

КОЦ оборудуются мостовыми кранами грузоподъемностью от 3 до 30 т. Количество их в одном пролете принимается по расчету, но не менее двух, для бесперебойной работы в случае ремонта крана.

Промышленные проводки цеха состоят из электросиловой сети и трубопроводов сжатого воздуха, кислорода и ацетилена или природного газа.

Технико-экономические показатели КОЦ подразделяются:

- на абсолютные, определяющие производственную мощность цеха (годовой выпуск обрабатываемого металла), т;
- трудоемкость работ цеха на годовую программу; общая площадь цеха; число работающих в цехе и др.;
- относительные показатели, характеризующие качество работы КОЦ или его проекта;
- годовой выпуск металла с 1 м<sup>2</sup> площади (без служебно-бытовых помещений), составляющий 9,5–3,2 т/м<sup>2</sup>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы технологии судостроения: учебник для вузов / В. Д. Мацкевич и [др.]; под общ. ред. В. Д. Мацкевича. – Л.: Судостроение, 1980. – 351 с.
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013. – Режим доступа: [http://www.femida.by/index.php?page=se\\_nalog2](http://www.femida.by/index.php?page=se_nalog2). – Дата доступа: 10.03.2013.
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / В. С. Голованов. – CAD master, 5/2002. – Режим доступа: [www.cadmater.ru](http://www.cadmater.ru). – Дата доступа: 09.03.2013.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / С. Л. Краусс. – ИРИСОФТ. – Режим доступа: [http://www.cadcamcae.lv/hot/Krauss\\_Interview\\_n53\\_p8.pdf](http://www.cadcamcae.lv/hot/Krauss_Interview_n53_p8.pdf). – Дата доступа: 18.03.2013.
5. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л.А. Исаевича. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – 327 с.
6. Способ создания ударной нагрузки: положит. решение по пат. 11194 Респ. Беларусь, МКИ В 21 J 7/26, 15/18, В 25D 9/11 / И. В. Качанов, В. И. Качанов, А. Н. Кондратович, В. Н. Шарий; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – 2008.

Учебное издание

**ШАРИЙ** Василий Николаевич

**ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ**

Конспект лекций для студентов специальности  
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта»

В 3 частях

Часть 1

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 26.06.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 5,27. Тираж 100. Заказ 1321.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.