

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.А. Азаров

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВАРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

*Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 658.512.6:006.354

ББК

А

Азаров Н.А.

А

Конструирование и расчет сварочных приспособлений: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / Н.А. Азаров. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. –48 с.

В пособии приведены геометрические погрешности, расчеты размерных цепей; показаны особенности сборочных и сварочных размерных цепей при разработке заготовительных и сборочно-сварочных операций; представлены расчеты размеров заготовок с учетом допусков на сборку, величину зазоров и сварочных деформаций; рассмотрены вопросы разметки, резки, гибки и другие заготовительные операции.

Пособие подготовлено на кафедре оборудования и технологии сварочного производства и предназначено для студентов ИДО, обучающихся по специальности «Оборудование и технология сварочного производства».

УДК 658.512.6:006.354

ББК

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология автоматизированных производств» ТПУ

С.В. Кирсанов

Главный сварщик ЗАО МУ-20

Ю.В. Супонников

© Азаров Н.А., 2009

© Томский политехнический университет

ВВЕДЕНИЕ

Рост объема производства сварных конструкций требует систематического улучшения качества при одновременном снижении себестоимости сварных изделий.

Реализация этих задач в большой мере зависит от начального этапа изготовления сварных конструкций – заготовительного производства.

Заготовительное производство включает в себя различные виды технологических процессов: обработку металлов давлением (резка на ножницах, гибка, правка, листовая штамповка), термическую резку (газовую и плазменную), механическую обработку на металлорежущих станках и др.

Одним из основных параметров, характеризующих процесс резки, является точность геометрических размеров.

Точность в самом общем ее понимании может быть определена как одна из характеристик качества изделия или как показатель качества технологического процесса. В том и другом случае точность можно выразить количественной мерой – величиной отклонения какой-либо характеристики от ее нормативного значения. Понятие точности относится к самым разнообразным сторонам производственного процесса. Применительно к сварочному производству можно говорить о точности (стабильности) химического состава, структуры и свойств основного металла и металла сварного соединения, о точности работы механического и сварочного оборудования, о точности регулирования тех или иных параметров режима сварочного процесса и т. п. Все эти стороны технологического процесса создания высококачественного сварного изделия весьма важны сами по себе и требуют специального рассмотрения при учете всех влияющих на них факторов. Однако в настоящем пособии рассматривается только одна сторона точности в сварочном производстве – так называемая *геометрическая точность*, определяемая степенью обеспечения заданных размеров, формы и расположения каких-либо осей и поверхностей изделия. Эта точность является очень важной характеристикой качества изделия, и она влияет на эффективность производственного процесса.

1. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Геометрические погрешности и их классификация

Сварная конструкция, изображенная на чертеже, является абстрактной моделью, созданной воображением конструктора. Эта же конструкция, существующая в результате выполнения целого цикла разнообразных технологических операций, является реальным воплощением в металле для заданной абстрактной модели. Между реальностью и идеалом диалектически неизбежно должно существовать различие – это и будет так называемая **погрешность изготовления** для конкретной сварной конструкции.

Точность детали или конструкции характеризуется *геометрической погрешностью*, которую количественно можно определить по схемам рис. 1.

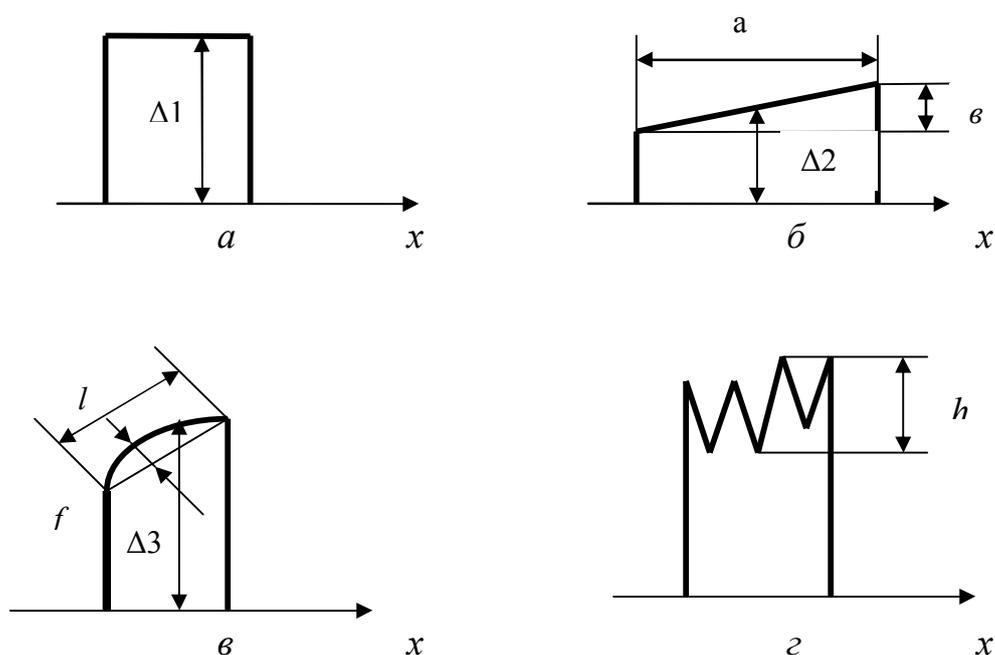


Рис. 1. Схемы математического описания различных видов геометрических погрешностей

Идеализированная поверхность конструкции (геометрическая поверхность) представляется связанной с системой координат в пространстве. Тогда расстояние между отдельными точками реальной поверхности изделия, помещенного в эту же систему координат, и соответствующими им точками геометрической поверхности будет количественной характеристикой геометрической погрешности. В самом общем случае эта погрешность будет описываться функцией принятой координатной системы:

$$\Delta = f(x). \quad (1)$$

Вид этой функции определяет различные виды погрешностей и служит основой для их классификации при логическом единстве.

Если пренебречь мелкими частностями реальной поверхности и представить ее для простоты изучения как несколько схематизированную прилегающую поверхность, показанную на рис. 1, то математические выражения для функции погрешности существенно упростятся. Если прилегающая поверхность может рассматриваться как плоскость, параллельная геометрической поверхности, как показано на рис. 1, *а*, то погрешность выражается некоторым постоянным числом, не зависящим от координат, т. е. от места измерения:

$$\Delta_0 = A \neq f(x). \quad (2)$$

В таком случае принято говорить о *погрешности размера*. Эта погрешность имеет размерность длины.

Если прилегающая поверхность является плоскостью, расположенной под углом к плоской геометрической поверхности, как показано на рис. 1, *б*, то погрешность выражается линейной функцией координат

$$\Delta_1 = kx + b. \quad (3)$$

Такой вид погрешности называется *погрешностью расположения поверхностей* (для данного случая – непараллельность). Главной характеристикой этого вида погрешности является показатель наклона, не имеющий размерности. На практике для определения этого наклона часто используют две линейные характеристики: величину отклонения *a*, измеренную на базе *l*.

На рис. 1, *в* показан случай, когда прилегающая поверхность не может быть представлена плоскостью, а является криволинейной поверхностью, исследуемая часть которой описывается параболической функцией – квадратным трехчленом:

$$\Delta_0 = a + bx + cx^2. \quad (4)$$

Главной особенностью поверхности в этом случае является не связь ее с геометрической плоскостью, а присущая ей самой **погрешность формы** (в данном случае – неплоскостность). Эта погрешность численно определяется коэффициентом c при x^2 , который имеет размерность, обратную размерности длины, и служит известной характеристикой кривизны. На практике для количественного определения погрешности формы используют не величину кривизны, а связанную с ней величину прогиба f , измеряемого на базе l .

Наконец, можно еще плотнее совместить прилегающую поверхность с реальной и рассматривать величину отдельных неровностей, как показано на рис. 1, *г*. Высота h неровностей, усредненная для определенной части поверхности, будет служить показателем качества чистоты поверхности и определять так называемую **шероховатость**, которая весьма важна для механической обработки.

1.2. Размерные цепи в сварных конструкциях

1.2.1. Общие положения

Размерной цепью называется группа связанных между собой размеров, образующих замкнутый контур и служащих решению поставленной задачи согласования допусков на один, или часть этих размеров, или даже на все размеры. Основной особенностью любой размерной цепи является двойкой характер связи между ее размерами: наряду с внешне очевидной **геометрической** (конструкторской) связью есть еще и **причинно-следственная** (технологическая) зависимость одного из размеров цепи от каждого из остальных. Это звено цепи называется **замыкающим**, а все остальные – **составляющими звеньями**. Выявление замыкающего звена и графическое построение контура размерной цепи представляет важнейшую часть решения задачи согласования допусков, поэтому оно будет рассмотрено на конкретных примерах.

Подетальные размерные цепи. На рис. 2 изображена листовая деталь в виде прямоугольника со скошенным углом.

Продольные размеры могут быть заданы различно – любой комбинацией из трех размеров (a , b и c) по два. Геометрически и формально-аналитически выбор этой комбинации кажется безразличным, но технологически один из трех размеров всегда оказывается зависящим от двух других. Характер этой зависимости определяется принятой последовательностью изготовления детали. Различные варианты показаны на рис. 2.

Из исходного полосового проката сначала может быть вырезана прямоугольная карточка длиной c , а может быть обрезан скос по размеру b . Скос на карточке может быть обрезан с разметкой по стороне a , тогда размер b самого скоса будет зависеть от возможных ошибок размеров a и c . Если же скос на карточке размечается по размеру b , то размер a станет зависимым от размеров b и c . Размер c будет зависеть от размеров a и b , если на полосе со скосом сделать разрез с разметкой его положения от конца скоса по размеру a .

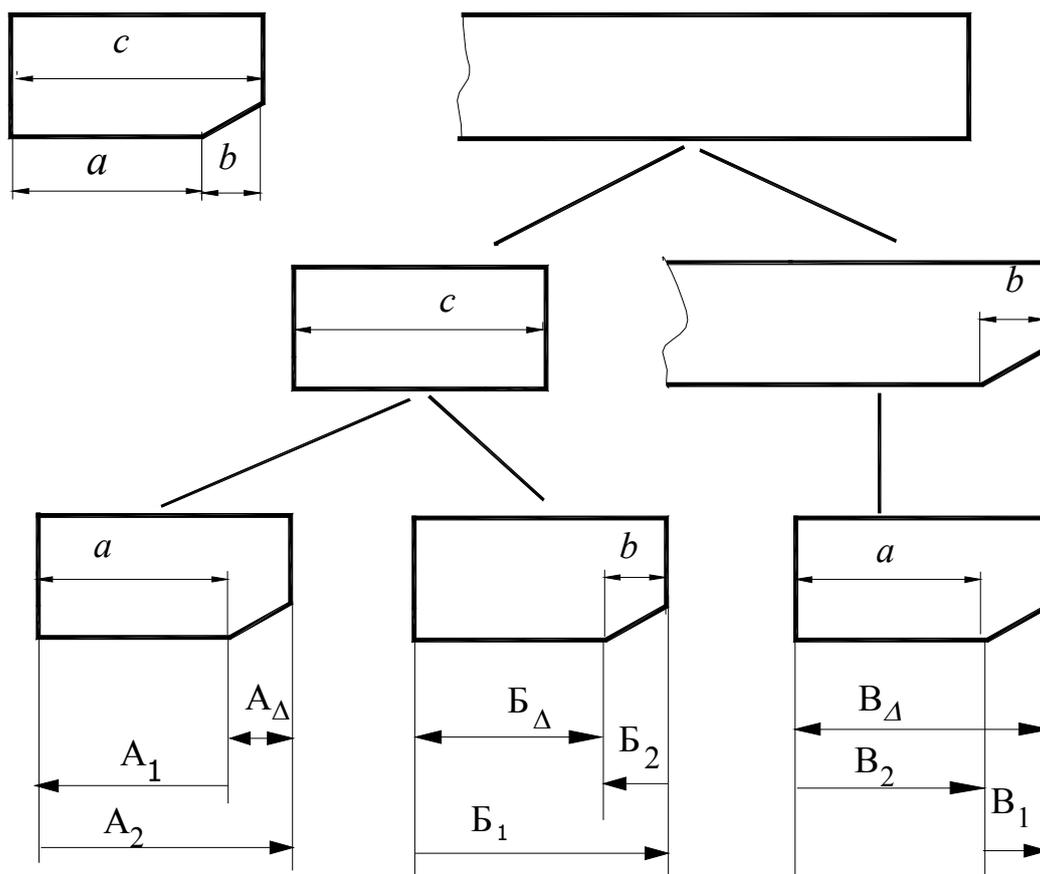


Рис. 2. Различные варианты последовательности вырезки детали и формирование размерной цепи

В каждом из этих вариантов замыкающим звеном оказывается иной размер, что и показано на схемах размерных цепей, изображенных в нижней части рисунка. Схема размерной цепи изображается согласно действующим правилам: все звенья одной цепи – заглавной буквой русского алфавита; замыкающее звено – двусторонней стрелкой (его буквенное обозначение имеет подстрочный индекс Δ); составляющие звенья – односторонними стрелками по ходу цепи с индексами в виде порядковых номеров. Для большей наглядности звенья на схеме несколько

разносятся по выносным линиям, связывающим схему с чертежом детали.

В рассматриваемом случае все звенья параллельны и смещением по выносным линиям могут быть сведены в одну прямую линию. Такие размерные цепи называются **линейными**, они и будут в дальнейшем рассматриваться в этом пособии как наиболее простые. Существуют еще **плоские** размерные цепи, звенья которых хотя и не параллельны, но могут быть сведены в одну плоскость, и **пространственные** размерные цепи, звенья которых не могут совместиться в одной плоскости. Методики расчета пространственных размерных цепей в машиностроении еще нет, расчет плоских цепей очень сходен с расчетом линейных цепей.

По характеру своего влияния на величину замыкающего звена все составляющие звенья разделяются на **увеличивающие** или **уменьшающие**.

Увеличивающие звенья при случайном отклонении своего размера в большую сторону соответственно увеличивают и замыкающее звено.

Уменьшающие звенья своим случайным увеличением, наоборот, уменьшают величину замыкающего звена. При рационально выбранном размещении схемы движение по цепи слева направо будет соответствовать увеличивающему звену и наоборот. В сложных цепях рекомендуется дополнительно отличать звенья еще и направлением стрелок над буквенными обозначениями. Размерные цепи (см. рис. 2 называются **подетальными**, т. к. относятся они к размерам одной детали.

Сборочные размерные цепи. Сварная конструкция всегда составлена из отдельных деталей-заготовок. Размерные цепи, связывающие размеры нескольких деталей, называются **сборочными**. Такие цепи показаны на рис. 3 для простейшего из сварных узлов – стыкового соединения двух листовых деталей. Размеры деталей a и c обеспечиваются технологией заготовительных работ и при нормальном сборочном процессе не должны изменяться. При сборке определяются как величина b зазора между свариваемыми кромками, так и габаритный размер d сварного узла. Замыкающее звено и схема размерной цепи будут зависеть от принятой технологии сборки.

Если при сборке стремиться обеспечить нужную величину зазора (постановкой мерной прокладки с поджатием к ней кромок деталей, непосредственным измерением щупом или линейкой при регулируемом перемещении деталей или просто визуальным контролем), то габаритный размер получается при этом как следствие: он и будет замыкающим звеном (см. рис.3, б), зависящим как от фактической величины полу-

ченного зазора, так и от размеров деталей. Такова размерная цепь b , все составляющие звенья которой являются увеличивающими.

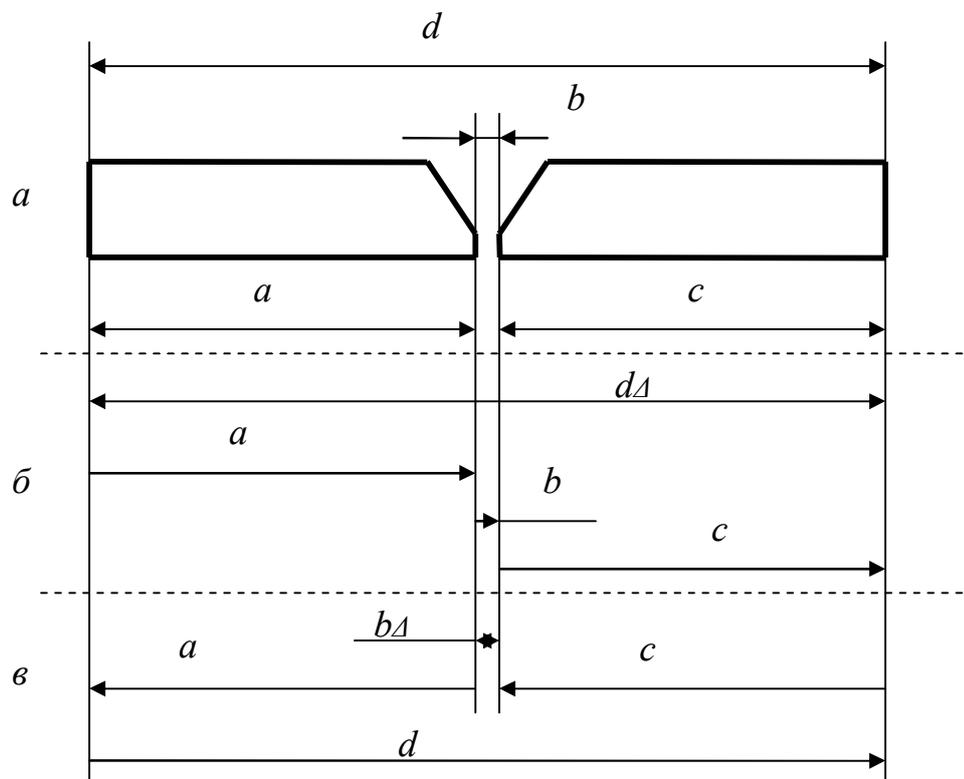


Рис. 3. Сборочные размерные цепи в сварном изделии

Но возможна и другая технология сборки, когда в первую очередь обеспечивается величина габаритного размера (рис. 3, $в$): установкой наружных кромок деталей по упорам приспособления, непосредственным измерением габарита при перемещении деталей или выравниванием положения наружных кромок деталей по отметкам на линейке. Зазор при этом оказывается замыкающим звеном, величина которого зависит как от фактически установленного габарита, так и от размеров деталей. В размерной цепи $в$ размеры деталей играют роль уменьшающих звеньев, а габаритный размер является увеличивающим звеном.

1.2.2. Расчетные формулы

Каждое из звеньев размерной цепи в результате ее решения должно быть представлено в виде конкретного линейного размера с допуском. В чертежно-технологической документации допуски изображаются **верхним и нижним предельными отклонениями**. Эти отклонения могут быть положительными и отрицательными, равными и неравными по абсолютной величине. Для удобства расчетов допуск размера преобразуется в симметричную форму. Размеры в обычной записи, например

400^{+6} и $400+2-4$, в симметричной форме будут иметь вид $400 + 3 \pm 3$ и $400 - 1 \pm 3$. Каждый размер в таком виде будет характеризоваться своей номинальной величиной (400), серединой поля допуска (+3 и -1) и величиной допуска (6), которая равна алгебраической разности верхнего и нижнего предельных отклонений. В симметричной форме (рис. 4) каждое из предельных отклонений равно половине допуска. По государственному стандарту распределение погрешностей в пределах допуска характеризуется еще коэффициентами относительной асимметрии и относительного рассеивания, показывающими отличие действительного распределения от нормального. Но в данном пособии эти дополнительные характеристики не рассматриваются.

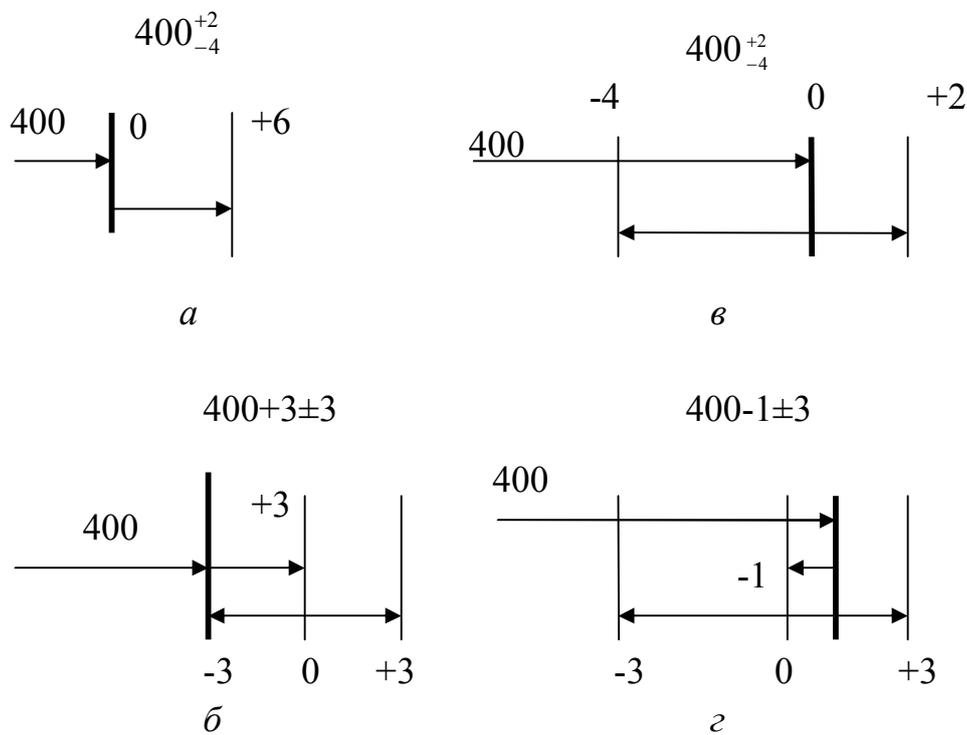


Рис. 4. Преобразование полей допусков в симметричную форму

Стандартные расчетные формулы связывают характеристики замыкающего звена с соответствующими характеристиками всех составляющих звеньев. Характер влияния каждого из составляющих звеньев на замыкающее звено учитывается коэффициентом ξ . Для увеличивающих звеньев в линейных размерных цепях этот коэффициент равен +1, а для уменьшающих -1. В плоских размерных цепях величина этого коэффициента может меняться в пределах от -1 до +1, в зависимости от

угла между линиями направления замыкающего и составляющего звеньев.

Номинальный размер в цепи A

$$A_{\Delta} = \sum \xi_i A_i. \quad (5)$$

Середина поля допуска замыкающего звена цепи A

$$\Delta_0 A_{\Delta} = \sum \xi_i \Delta_0 A_i, \quad (6)$$

величина допуска при расчете методом максимума-максимума

$$\delta A_{\Delta} = \sum |\xi_i| \delta A_i, \quad (7)$$

при расчете вероятностным методом

$$\delta A_{\Delta} = k \sqrt{\sum (\xi_i \delta A_i)^2}. \quad (8)$$

В формулах (5–8) суммирование проводится по всем составляющим звеньям; Δ_0 обозначает середину поля допуска; δ – величину допуска на размер. Для упрощения записи, когда ясно, о какой размерной цепи идет речь, можно не писать букву, обозначающую эту цепь. Тогда подстрочные индексы, определяющие звенья цепи, должны соединяться с соответствующими символами ($\Delta_{0\Delta}, \Delta_{0i}$ и $\delta_{\Delta}, \delta_i$ вместо $\Delta_0 A_{\Delta}, \Delta_0 A_i$ и $\xi A_{\Delta}, \delta A_i$).

Методы расчета величины допуска по формулам (3) и (4) нуждаются в специальном пояснении. Расчет на максимум-минимум, называемый еще методом расчета полной или абсолютной взаимозаменяемости, учитывает все возможные, хотя и маловероятные, сочетания погрешностей. Поэтому в большинстве случаев такой метод расчета требует излишнего запаса точности при назначении допусков на составляющие звенья и дает чрезмерно большую накопленную погрешность при расчете возможной ошибки замыкающего звена. Однако этот метод расчета весьма привлекателен из-за своей простоты и наглядности. Применение его рекомендуется в следующих случаях:

а) для предельно коротких размерных цепей – два, реже три составляющих звена (длина размерной цепи определяется не размерами звеньев, а общим их количеством). В этом случае результаты расчетов обоими методами отличаются очень мало;

б) для сборки на станках-автоматах, непрерывная работа которых требует полного исключения риска случайного неблагоприятного сочетания ошибок собираемых деталей. Учет всех возможностей должен гарантировать надежную работу станка;

в) для неавтоматизированной сборки особо ответственных узлов, если необходимо исключить подгонку по месту или нет возможности замены деталей с неблагоприятным сочетанием погрешностей. Это характерно для единичного производства;

г) при расчете припусков на подгонку и обработку, что бы обеспечить заведомый запас припуска.

Вероятностный метод расчета допусков, называемый еще методом ограниченной или неполной взаимозаменяемости, принимает во внимание не все возможные, а только наиболее вероятные сочетания допускаемых погрешностей. При этом предполагается, что наибольшие ошибки одних звеньев происходят при малых ошибках других звеньев. При назначении допусков на размеры составляющих звеньев этот метод допускает увеличенные погрешности, а при проверке накопленной ошибки замыкающего звена показывает заниженный результат по сравнению с методом максимума-минимума. Поэтому при вероятностном методе расчета всегда заложена теоретическая возможность получить брак из-за неблагоприятного сочетания предельных отклонений. Вероятность брака уменьшается при возрастании количества составляющих звеньев в размерной цепи.

Для снижения степени риска образования брака в формулу (7) введен коэффициент k , стоящий перед знаком радикала. Величина этого коэффициента может быть принята в пределах от 1,0 до 1,3, причем большему значению должны соответствовать короткие размерные цепи. При одинаковых допусках на составляющие звенья допуск замыкающего звена по вероятностному расчету не должен превосходить допуска по расчету методом максимума-минимума. В противном случае делается коррекция коэффициента k . Обратное соотношение допусков, рассчитанных разными методами, вполне закономерно, оно свидетельствует о реальном риске получить маловероятный выход за расчетный допуск.

В зависимости от исходных условий при решении размерных цепей встречаются конкретные задачи двух типов:

1. Задано замыкающее звено со своим допуском, требуется определить все (или некоторые) составляющие звенья с их допусками. Чертеж конструкции указывает только на связь номинальных размеров. Задача такого типа называется **прямой** задачей, или **проектным расчетом**. Она является наиболее распространенным случаем в практике расчетов. Для решения этой задачи расчетные формулы (6) и (8) необходимо преобразовать так, чтобы определить нужные данные по тем или иным звеньям цепи. Так как неизвестными в общем случае могут быть параметры нескольких составляющих звеньев, а для каждого из параметров имеется только одно уравнение, то решение прямой задачи является

принципиально неоднозначным и допускает множество вариантов. Рациональный вариант выбирают в зависимости от конкретных условий задачи. Может быть допущено равенство всех неизвестных допусков или какое-либо соотношение между ними либо некоторые допуски считаются заведомо определенными по конструктивно-технологическим соображениям, не связанным с расчетом.

2. Заданы все составляющие звенья с их допусками, неизвестно только замыкающее звено. В этом, более простом, случае задача называется **обратной**, или **проверочным расчетом**. Все расчетные формулы используются в их первоначальном виде, и результат расчета однозначен. Этот расчет рекомендуется проводить всегда после проектного расчета для исключения случайных расчетных ошибок и для контроля правильности коррекции окончательно назначаемых допусков на составляющие звенья (округление значащих цифр, выбор по технологическим условиям и т. п.).

1.3. Особенности размерных цепей в сварных конструкциях

Существующая стандартная методика расчета размерных цепей разработана применительно к сборочным единицам из механически обработанных деталей, соединяемых между собою обычными механическими способами – посадками, разъемными и неразъемными сопряжениями. Сварная конструкция, представляющая сборочную единицу с неразъемными соединениями, имеет свои специфические особенности, влияющие на процесс формирования размерной цепи при создании конструкции. Эти особенности должны быть учтены и при составлении схемы размерной цепи и при ее расчете.

Сварочная деформация. В самом общем виде сварочная деформация представляет собой особый вид технологической погрешности, искажающей как размеры, так и форму сваренного изделия по сравнению с его размерами и формой перед началом сварочного процесса (после сборки под сварку). Поскольку фактический размер конструкции после сварки зависит и от размера собранной конструкции, и от величины сварочной деформации, то он должен быть замыкающим звеном своеобразной размерной цепи **сборка – сварка – конструкция**, как показано на рис. 5.

Зазоры в сварных соединениях. В механосборочных размерных цепях зазоры между деталями часто делают замыкающими звеньями, собирающими на себя всю накапливающуюся погрешность, иногда они используются в качестве звеньев-компенсаторов, позволяющих изме-

нить в нужном направлении погрешность замыкающего звена. В сварных соединениях все требования к зазорам между деталями определяются условиями получения высококачественного сварного соединения.

Технологические требования к зазорам со стороны сварочного процесса довольно жестки и принципиально не связаны с технологией сборки. В очень многих случаях требования к зазорам определяются соответствующими государственными стандартами, поэтому в размерную цепь собранного под сварку изделия должны обязательно включаться зазоры между свариваемыми кромками, играющие роль замыкающего звена или составляющих звеньев, в зависимости от принятой технологии сборки. Использование этих зазоров в качестве звеньев-компенсаторов возможно, но **только с учетом ограничений**, накладываемых сваркой.

Ограниченная жесткость деталей и силовой фактор. В механо-сборочных размерных цепях действием внешних сил почти всегда пренебрегают, жесткость каждой детали считается бесконечно большой и ее размер – неизменным в процессе сборки. Сварные узлы и конструкции почти всегда собираются из относительно тонкостенных деталей, наибольшие и наименьшие габаритные размеры которых (длина и толщина листов, например) могут отличаться на два-три порядка. Для таких деталей даже собственный вес, а не только сборочные усилия могут вызвать заметные перемещения, искажающие форму и расположение сопрягаемых поверхностей деталей по сравнению с их свободным положением.

Однако эта особенность дает благоприятную возможность в расчетах размерных цепей сборки под сварку совершенно пренебречь начальными погрешностями формы и расположения поверхностей деталей в направлении их наименьшего размера (толщины). Это допущение возможно при обязательном применении сборочных усилий, выправляющих любые погрешности начальной формы деталей до величины, определяемой допуском на зазор, или несовпадением кромок по плоскости в сварном соединении. Такое допущение упрощает схему размерной цепи.

Относительно низкая точность деталей. Детали для сварных конструкций получают в результате довольно грубых технологических процессов: прессовой и термической резки, наждачной обдирки или черновой механической обработки. Собственная точность каждого из этих процессов в настоящее время изучена еще очень мало, особенно для крупногабаритных деталей; мало опубликовано материалов по статистическим характеристикам рассеивания действительных погрешностей деталей. Поэтому при расчете размерной цепи речь может идти

только о самой величине допуска на размер, без указания характера распределения погрешностей в пределах допуска.

1.4. О табличных припусках на сварочные укорочения

При значительной нестабильности сварочных деформаций в условиях производства предварительным расчетом можно определить только среднее значение величины ожидаемой сварочной деформации и задать диапазон рассеивания, в котором с некоторой степенью риска могут оказаться результаты контроля серии изделий.

При такой неопределенности предсказания ожидаемой величины деформации для заданных конструктивных характеристик можно с равной вероятностью считать, что принятая конкретная величина ожидаемой сварочной деформации окажется пригодной для целого диапазона конкретных конструктивных характеристик свариваемого соединения или изделия.

Таблично-нормативное назначение величины припуска на ожидаемое сварочное укорочение привлекательно своей простотой и наглядностью, но оно не может в полной мере заменить инженерные методы расчета сварочных деформаций. Таблицы не могут учесть изменения сразу по нескольким параметрам режима сварки и конструктивным характеристикам изделия, они дают весьма ненадежный результат на границах принятых диапазонов, и, кроме того, они малоприспособны для перехода от опыта одного предприятия к другому даже для одной отрасли. Поэтому применение таблиц можно допустить только для грубых ориентировочных оценок и всегда целесообразно проверять табличные нормативы двумя путями:

- инженерным методом расчета;
- практическими измерениями действительных деформаций реальных конструкций в условиях производства.

1.5. Расчетное согласование допусков на размеры конструкции

Точность сварной конструкции после ее окончательного изготовления определяется не только деформациями, происходящими в процессе ее сварки, но и точностью сборки ее под сварку. Эта связь дает возможность составить размерную цепь, включающую все характеристики точности. Изменение габаритной длины конструкции в результате сварки может происходить от суммарных сварочных укорочений, вызванных всеми швами:

- продольные укорочения тавровых соединений поясов со стенкой;
- поперечные укорочения в стыковых соединениях стенки;
- тавровые соединения ребер с поясами и стенкой.

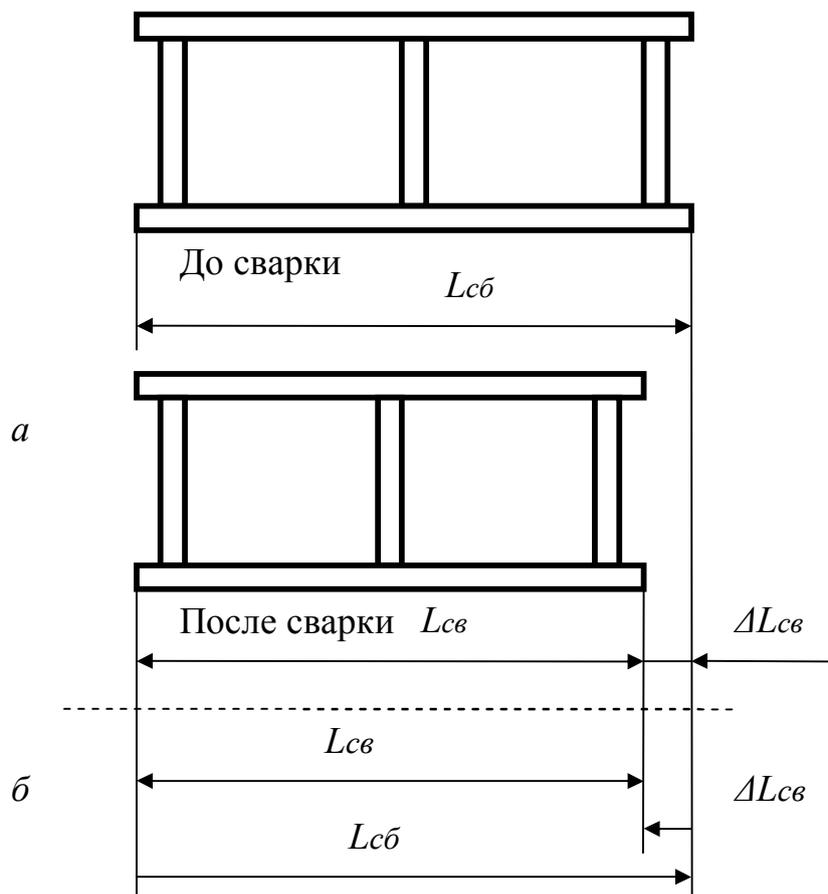


Рис. 5. Схема введения суммарного сварочного укорочения в размерную цепь сварной конструкции:
a – схема деформации; *б* – размерная цепь

Возможны и деформации от приварки различных мелких деталей. Средние величины деформаций каждого вида определяют различными способами: непосредственным измерением для конкретной конструкции (на опытной или установочной серии изделий перед началом массового производства или на основе данных выборочного контроля при серийном производстве), инженерным расчетом по какой-либо методике или приближенной оценкой на основе табличных нормативов, действующих на предприятии. Общее укорочение габарита в результате сварки определится суммированием всех видов остаточных деформаций. Но эта величина характеризует только среднее значение ожидаемой сварочной деформации, играющее в размерной цепи (рис. 5) роль середины поля допуска для звена ΔL_{12} .

Для расчета размерной цепи необходимо иметь представление о вероятном рассеивании сварочных деформаций (допуске звена $\Delta L_{св}$). Если отсутствуют надежные статистические данные по характеру распределения деформаций заданной конструкции (например, по материалам сварки опытной серии) или нет возможности использовать опыт изготовления аналогичных изделий по сходной технологии, то для определения относительного диапазона рассеивания сварочных деформаций рекомендуется использовать данные табл. 3, составленной на основе экспериментов. При этом выдерживался принцип логического построения непрерывного ряда диапазонов рассеивания по обычно применяемым градациям ряда предпочтительных чисел.

Необходимо иметь в виду, что рекомендации табл. 1 относятся только к деформациям линейного укорочения (абсолютного или относительного). Угловые деформации и деформации общего изгиба, частично или полностью (по расчету) компенсирующиеся действием различных проходов, могут иметь очень большое относительное рассеивание при малом среднем значении в серии опытов.

Таблица 1

Рекомендуемые диапазоны относительного рассеивания остаточных сварочных укорочений

Условия сварки	Диапазон рассеивания деформаций, %	Отношение величины допуска к номинальному размеру, $\frac{\delta L_{св}}{\Delta L_{св}}$
Лабораторные	$\pm (20...30)$	0,4...0,6
Производства:		
с высокой культурой сварочных работ	$\pm (30...50)$	0,6...1,0
со средней культурой сварочных работ	$\pm (50...80)$	1,0...1,6
с низкой культурой сварочных работ	+ (80 и более)	более 1,6

Примечание. $\Delta L_{св}$ – средняя величина сварочной деформации; $\delta L_{на}$ – величина допуска сварочной деформации.

Понятие уровня культуры в сварочном производстве охватывает не только технологию сварки, но и все заготовительно-сборочно-сварочные работы. К условиям высокой культуры можно отнести:

- преобладание автоматических способов сварки;
- строгое соблюдение нормативных требований к зазорам в сварных соединениях;
- применение точных заготовок (после хорошей термической резки или с механической обработкой сопрягаемых кромок);
- тщательно разработанную и отработанную технологию сборки и сварки;
- широко используемые сборочные приспособления и средства борьбы со сварочными деформациями.

На предприятиях с низкой культурой сварочного производства:

- детали неточные;
- зазоры в сварных соединениях значительно превосходят допускаемые;
- сборка выполняется с большими и неопределенными натягами (начальными напряжениями);
- среди способов сварки преобладает ручная и полуавтоматическая;
- отсутствует контроль режимов сварки;
- отсутствует последовательность наложения сварных швов и т. д.

Назначив, таким образом, все данные по одному из составляющих звеньев размерной цепи, можно определить и другое звено. Так как размерная цепь наиболее короткая (два составляющих звена), то этот расчет очень просто выполняется на максимум-минимум: к номинальному размеру готовой конструкции прибавляется абсолютное значение среднего суммарного сварочного укорочения ($\Delta L_{св}$) (задается припуск), а из величины допуска на размер ($\delta L_{св}$) готовой конструкции, в соответствии с формулой (22), вычитается величина допуска на сварочное укорочение (сужается допуск).

1.6. Сборочные размерные цепи в сварных конструкциях

1.6.1. Компенсация погрешностей смещением детали

Наличие допуска на зазоры в сварных соединениях иногда позволяет использовать его для частичной компенсации погрешностей, накапливающихся на деталях. На рис. 6 показана сборочная размерная цепь, где величина зазора регулируется в сторону уменьшения или увеличения, в зависимости от сочетания погрешностей других составляющих звеньев. Это звено называется звеном-компенсатором (*b*).

Если сумма увеличивающих звеньев имеет положительные отклонения от середины допуска, то увеличивающее звено-компенсатор ре-

гулируется в сторону уменьшения, и наоборот. Звено-компенсатор оказывается корреляционно связанным со всеми составляющими звеньями размерной цепи. Если принять эту корреляцию за полную, то звенья-компенсаторы не могут входить как независимые слагаемые в правые части уравнений (3) и (4) – они должны быть исключены из-под знака суммы. Но так как эти звенья воспринимают на свой допуск часть суммарной накопленной погрешности других составляющих звеньев, то они должны войти в число зависимых переменных и суммироваться своим допуском с допуском замыкающего звена в левой части уравнений (3) и (4). Применительно к конкретной размерной цепи (рис. 6) уравнения с компенсацией за счет зазора в сварном соединении имеют следующий вид: при расчете методом максимума-минимума

$$\delta a + \delta b_{\kappa} = \delta c + \delta d_{\Delta}; \quad (9)$$

при расчете вероятностным методом

$$\delta d + \delta b_{\kappa} = k \sqrt{(\delta b)^2 + (\delta a)^2}. \quad (10)$$

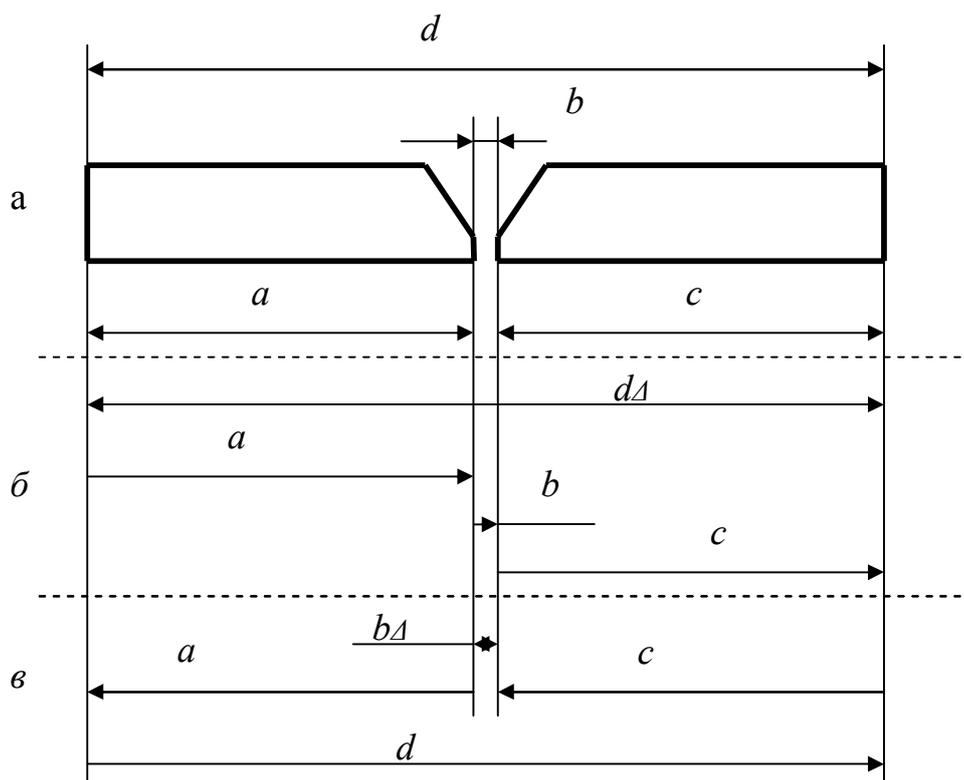


Рис. 6. Сборочная размерная цепь с зазором-компенсатором

Такой способ компенсации погрешностей требует высокой квалификации исполнителей и дополнительной трудоемкости на контролируемое смещение деталей вместе с многократными измерениями зазора

и габарита. Жесткие требования к точности зазоров в сварных соединениях ограничивают компенсационные возможности этого метода. Но, несмотря на это, такой технологический прием очень широко применяется в сварочном производстве, особенно для узлов с несколькими стыковыми соединениями.

1.6.2. Сборка в приспособлении

Для повышения точности сборки конструкции перед сваркой очень часто используются приспособления различного типа. Точность установки деталей в этом случае будет определяться точностью размера между опорными поверхностями (базами) приспособления и плотностью прилегания собираемых деталей к этим поверхностям (погрешность базирования деталей). Образующиеся при сборке в приспособлении размерные цепи показаны на рис. 7. Собранная конструкция образует размерную цепь a (сборка по габариту). Но габаритный размер узла (звено d) является замыкающим звеном размерной цепи b , состоящей из размера приспособления $П2$ и погрешностей базирования деталей $П1$ и $П3$. Размерные цепи a и b оказываются взаимно связанными: они имеют общее звено.

Погрешности базирования номинально должны быть равны нулю, т. к. конструкция приспособления всегда предполагает плотное прилегание деталей собираемого узла к базам приспособления. Для поджатия деталей к упорам приспособления часто применяются специальные прижимы P (см. рис. 7). Но реально всегда может быть некоторый зазор между деталью и упором приспособления ($П1$, $П3$). Причины этого явления могут быть различными – загрязнения и забоины на кромках деталей и на упорах, упругие деформации как собранной на прихватках конструкции, так и самого приспособления. Эти деформации, незаметные в момент сборки, могут проявиться в том, что при освобождении от прижимов кромки деталей могут отойти от баз приспособления.

На схеме размерной цепи с номинально нулевыми зазорами звенья-зазоры показаны значительно увеличенными, но для сохранения замкнутости контура цепи и направления хода увеличивающего ($П2$) и уменьшающих ($П1$ и $П3$) звеньев проведены дополнительные наклонные выносные линии.

Допуски на неприлегание к упорам можно принимать по данным табл. 2, в зависимости от чистоты поверхности в месте опирания. Вариации допусков на зазоры могут учесть общую жесткость собираемого узла и приспособления и влияние сборочных усилий и деформаций от постановки прихваток. В некоторых случаях отраслевые нормативы до-

пускают еще большие зазоры. В судостроении допускается до 5 мм неприлегание листов обшивки секций к криволинейным лекалам сборочных стендов-постелей.

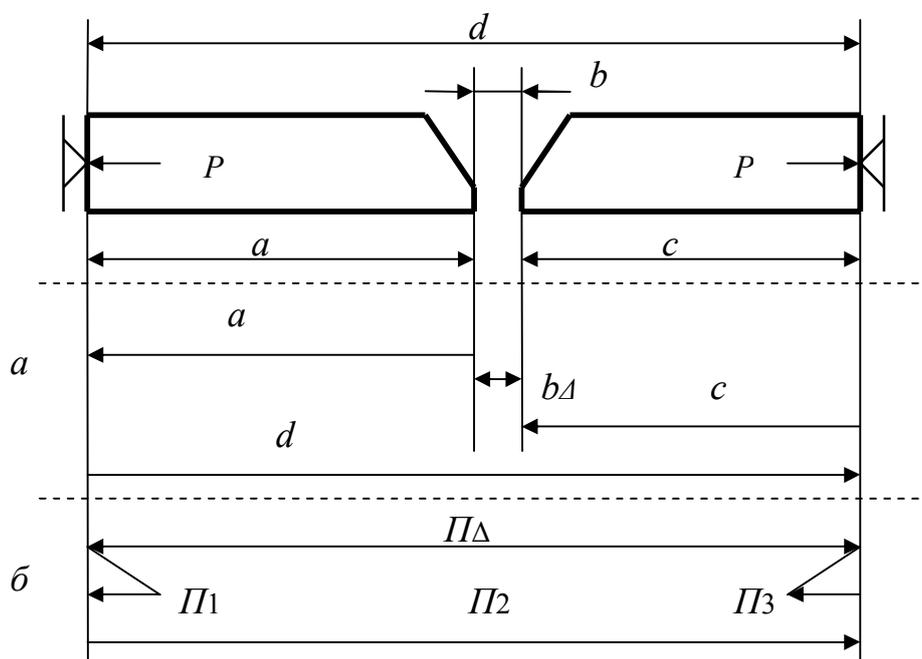


Рис. 7. Размерные цепи при сборке в приспособлении:

a – размерная цепь сборки по габариту;

$б$ – размерная цепь приспособления и погрешности базирования

Таблица 2

Допуски на зазоры у упоров сборочных приспособлений
(погрешности базирования)

Состояние кромки упора	Состояние кромки детали	Зазор с допуском, мм
Механически обработана	Механически обработана	От $0^{+0,2}$ до $0^{+0,5}$
Механически обработана	Не обработана	От $0^{+0,5}$ до 0^{+1}
Не обработана	То же	От 0^{+1} до 0^{+2}

Собственная точность приспособления (допуск звена Π_2) зависит от его конструкции и может быть очень высокой при изготовлении приспособления из тщательно обработанных деталей с хорошей настройкой его в процессе наладки и при периодических проверках. В некоторых отраслевых нормативах принимается **трехкратное ужесточение допуска** на базовые размеры приспособления по сравнению с требованиями к точности сварной конструкции, собираемой по этим базовым размерам.

При сборке в приспособлениях можно использовать и все другие приемы: получение нужной точности замыкающих звеньев – подбор по месту; селекцию или контролируемое смещение деталей.

1.6.3. Пригонка при сборке

Очень распространенным, к сожалению, способом получения нужной точности замыкающего звена и сборочных зазоров в процессе сборки является введение дополнительной технологической операции пригонки деталей по месту. По своему существу эта операция служит продолжением заготовительного процесса, только выполняется она на не приспособленных для этого рабочих местах и далеко не самыми совершенными средствами: обычно применяются ручная газовая резка с предварительной разметкой, пневматическая рубка и шлифовка кромок. Такой способ может компенсировать любую накопленную погрешность, но требует очень большой трудоемкости и крайне неблагоприятен с позиций охраны труда и техники безопасности.

Если ошибки деталей идут в сторону уменьшения их размеров, то накопленная погрешность выражается в увеличенных зазорах. Не всегда эти зазоры могут быть заварены основным сварочным процессом (за счет вариации режима или применением большего по сравнению с технологией числа проходов шва). В таких случаях в процессе сборки приходится применять очень малопродуктивную ручную дуговую наплавку кромки детали с последующей подрубкой и подшлифовкой ее по месту для получения нужной конфигурации и зазоров в месте сопряжения. Применение вставок, заполняющих избыточный зазор, большинством технических условий на производство сварных конструкций **строжайше запрещено**. Однако при рациональном изменении конструкции сварного соединения в месте постановки вставки и при тщательной разработке технологии ее приварки с соответствующим контролем вставки могут быть допущены без ущерба для качества шва.

При сборке конструкции из многих деталей требуемую пригонку не обязательно проводить во всех получающихся сопряжениях. Деталь, устанавливаемая в первую очередь (иногда ее называют «закладной» деталью), может вообще не нуждаться в дополнительной обработке. На всех последующих деталях, кроме самой последней, пригонка может делаться только для ликвидации недопустимых погрешностей формы и расположения сопрягаемых кромок с целью выравнивания зазора по его длине. В таком случае на детали, устанавливаемой в последнюю очередь (так называемой «забойной» детали), делается общий припуск на пригонку по размеру. Этот припуск по своей величине должен быть заведомо больше, чем все суммарные накопленные ошибки по всем со-

ставляющим звеньям, поэтому рассчитывать его величину следует методом максимума–минимума.

1.6.4. Механическая обработка сварных конструкций

Для машиностроительных сварных конструкций во многих случаях необходимо иметь и очень чистые по шероховатости, и достаточно точно расположенные поверхности, обеспечивающие удобство установки и нормальную работу каких-либо механизмов или облегчающую общую сборку изделия, в которую входит данный сварной узел. Требуемую точность при таких условиях можно обеспечить только механической обработкой конструкции после ее сварки. В этом случае сама сварная конструкция, с точки зрения механика-технолога, представляет собой не сборочную единицу, а монолитную деталь-заготовку, аналогичную отливке или поковке. На некоторых предприятиях существует даже принятый термин «сварные детали машин», хотя по стандартной терминологии «деталью» называется изделие, выполняемое без применения сборочных операций. Механическая обработка является очень дорогостоящей операцией, требующей больших затрат на оборудование, поэтому вопросы ее исключения или сокращения путем уменьшения припусков на обработку весьма важны.

Номинальная величина припуска на одной стороне должна полностью перекрыть все возможные погрешности чернового размера сварной заготовки, формы и расположения обрабатываемой поверхности и гарантировать минимально необходимый припуск для нормального проведения процесса механической обработки. Величина минимального припуска на обработку зависит от метода обработки, качества режущего инструмента и главным образом от жесткости системы *станок – приспособление – инструмент – деталь*.

2. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК

2.1. Расчет размерной цепи

Расчет размеров заготовок для сварных конструкций проводят на основании рабочих чертежей, на которых, как правило, проставляют размеры между осями. При этом величина сварочных зазоров, сварочные деформации не учитываются.

Расчет размерной цепи рассмотрим на примере (рис. 8).

Определить размеры и точность заготовок A_1 , A_2 , A_3 , которые обеспечат при свободной сборке размер $A_\Delta = 3500 \pm 7$ мм ($A_1 = 1000$ мм, $A_2 = 1500$ мм, $A_3 = 1000$ мм). Толщина листов - 10 мм. По ГОСТ 5264-80 величина зазора для соединения С17 равна $A_4 = A_5 = 2_{-2}^{+1} = (2 - 0,5)_{-1,5}^{+1,5}$.

При изготовлении деталей металлоконструкций должна учитываться усадка, вызываемая наложением сварных швов.

Величина припуска, компенсирующего усадку, если она не указана в технологической документации, при сварке листов встык должна быть равна 0,1 толщины свариваемых деталей на каждый стык [5]. Для листов толщиной 10 мм деформация $\Delta L_{св1}$ будет равна 1 мм на каждый стык. Если принять, что возможное относительное рассеяние деформаций соответствует $\pm 75\%$ (см. табл. 1), производство со средней культурой сварочных работ), то величина рассеяния габаритного размера конструкции от сварки одного шва

$$\delta L_{св1} = \pm 0,75 \cdot \Delta L_{св1} = \pm 0,75 \text{ мм.}$$

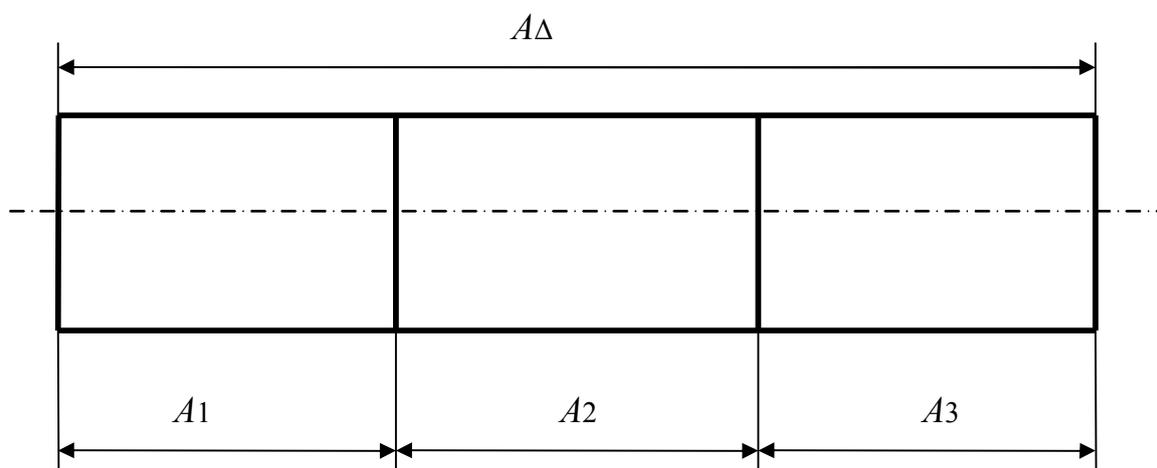


Рис. 8. Схема изделия

Величина деформации от одного шва (E_1) будет равна

$$E_1 = \Delta L_{св1} = -1,0 \pm 0,75.$$

Величина деформации от двух швов (E) будет равна

$$E = \Delta L_{св} = -2,0 \pm 1,5.$$

Рассчитывая размерную цепь (см. рис. 10), получим

$$L_{св} = L_{сб} - E,$$

откуда $L_{сб} = L_{св} + E = 3500 + 2,0 = 3502$ мм.

Допуск на сборочный размер определим по формуле

$$\delta L_{св} = \delta L_{сб} + \delta E,$$

откуда $\delta L_{сб} = \delta L_{св} - \delta E = 14 - 3 = 11$ мм. (11)

Рассматривая сборочную цепь (см. рис. 9), получим

$$\begin{aligned} \delta L_{сб} &= k \sqrt{\sum (\xi_i \delta A_i)^2} = \\ &= 1,3 \sqrt{2(\delta A_1)^2 + (\delta A_2)^2 + 2(\delta A_3)^2} = 11 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\delta L_{сб}$ – величина рассеяния сборочного размера; δA_1 – величина рассеяния размера A_1 и A_3 ; δA_2 – величина рассеяния размера A_2 ; δA_4 , δA_5 – величины рассеяния зазора ($\delta A_4 = \delta A_5 = 3$ мм).

Логично принять, что точность деталей соответствует одному классу, т. е. допуски на их размеры пропорциональны корню квадратному из номинального размера:

$$\delta A_2 / \delta A_1 = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{1500}{1000}} \approx 1,2; \quad (13)$$

$$\delta A_2 = 1,2 \delta A_1. \quad (14)$$

Подставляя δA_2 в (12), получим

$$11 = 1,3 \sqrt{2(\delta A_1)^2 + (1,2 \delta A_1)^2 + 2(3)^2}. \quad (15)$$

Решая (15) относительно δA_1 , получим

$$\delta A_1 \approx 4,27.$$

Подставляя δA_1 в (14), получим

$$\delta A_2 = 1,2 \cdot 4,27 \approx 5,1.$$

Округляя до целого, получим

$$\delta A_1 \approx 4 \text{ мм};$$

$$\delta A_2 = \approx 5 \text{ мм}.$$

Следовательно, размеры заготовок будут равны

$$L_{св} = L_{сб} - E,$$

откуда

$$L_{сб} = L_{св} + E = 3500 + 2 \cdot 1,0 = 3502 \text{ мм}.$$

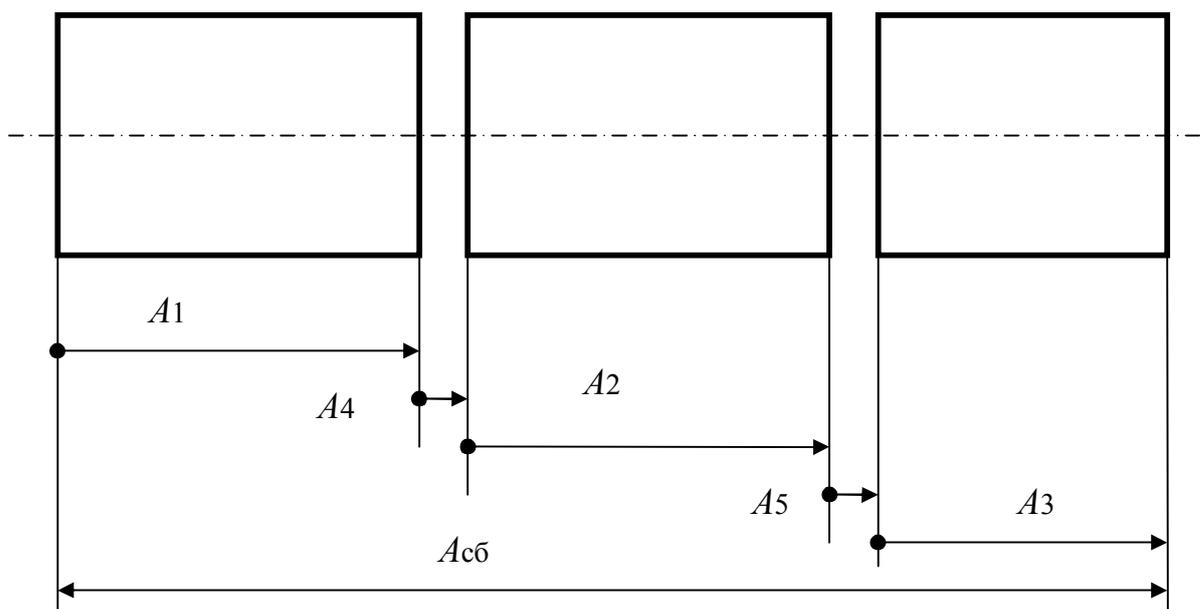


Рис. 9. Сборочная размерная цепь

Сборочный размер определим, решая размерную цепь (см. рис. 10).
Рассматривая размерную цепь (рис. 9), получим

$$L_{сб} = A_{сб} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5;$$

$$3502 = A_1 + A_3 + A_2 + A_4 + A_5.$$

Учитывая, что $A_1 = A_3$, а $A_4 = A_5$, и допуская, что $A_1 = 1000$ мм, а $A_4 = 1,5$ мм, получим

$$3502 = 2 \cdot 1000 + A_2 + 2 \cdot 1,5.$$

Тогда $A_2 = 3502 - 2 \cdot 1000 - 2 \cdot 1,5 = 1499$ мм;

$$A_1 = A_3 = 1000 \pm 2,0 \text{ мм};$$

$$A_2 = 1499 \pm 2,5 = (1500 - 1) \pm 2,5 = 1500 \begin{matrix} +1,5 \\ -3,5 \end{matrix} \text{ мм}.$$

Проверку проводим по формуле (8):

$$\begin{aligned} \delta L_{сб} &= 1,3\sqrt{2(\delta A_1)^2 + (\delta A_2)^2 + 2(\delta A_4)^2} = \\ &= 1,3\sqrt{2(2)^2 + (5)^2 + 2(3)^2} = 9,1 \text{ мм}, \end{aligned}$$

т. е. меньше 11 мм.

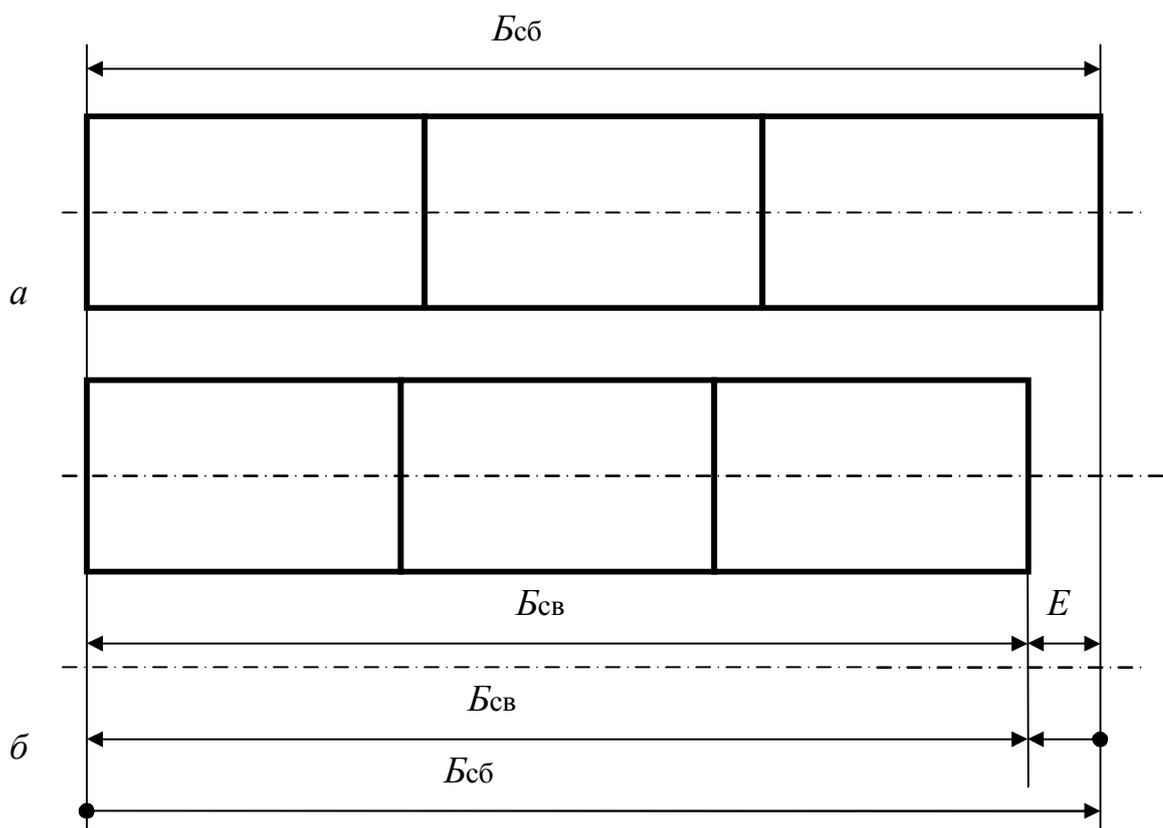


Рис. 10. Сварочная размерная цепь:
а – схема изделия; б - размерная цепь (E – деформация)

2.2. Разметка, наметка, изготовление шаблонов и кондукторов

Процесс вычерчивания мест обработки на поверхности металла и шаблонов называется **разметкой**.

Для изготовления одинаковых деталей пользуются **шаблоном**, который представляет собой деталь в натуральную величину, изготовленную из картона, фанеры, жести, рубероида, толя дерева. Процесс переноса контура детали, центров отверстий, вырезов с помощью шаблонов на металлопрокат называется **наметкой**.

Разметку на металлопрокате и изготовление шаблонов следует выполнять с помощью металлических линейек и рулеток, соответствующих точности второго класса по ГОСТ 7502 и ГОСТ 427, штангенциркулей по ГОСТ 166, штангенрейсмусов по ГОСТ 164, угольников поверочных по ГОСТ 3749, угломеров с нониусом по ГОСТ 5378. Припуски на разметку и наметку определяют по табл. 3.

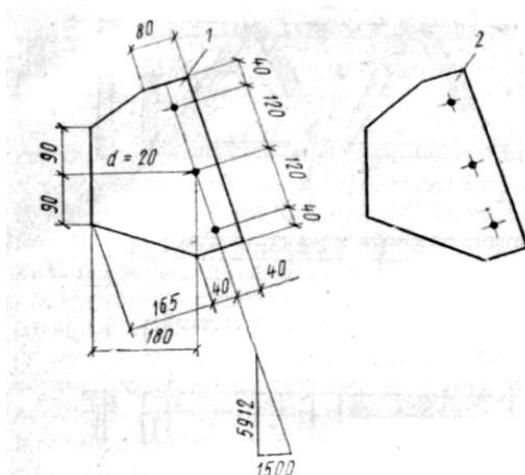


Рис. 11. Шаблоны для мелких листовых деталей:
1 – сборочная деталь; 2 – шаблон

При разметке на металлопрокате и изготовлении шаблонов необходимо учитывать припуски на механическую обработку и усадку от сварки в соответствии с рекомендациями табл. 5.

Разметку на металлопрокате и подметку по шаблонам следует выполнять чертилками и кернерами. Центры отверстий следует дополнительно пробивать кернером на глубину не менее 2 мм.

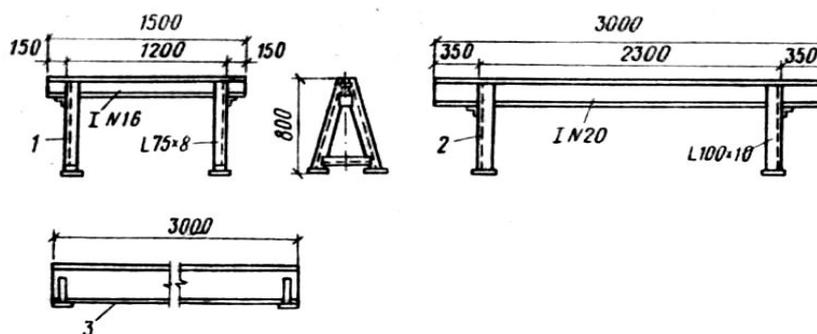


Рис. 12. Стеллаж для наметочных работ:
1 – для уголков; 2 – для листов; 3 – для балок и швеллеров

Кондукторы для сверления отверстий следует изготавливать из стали, при этом впрессованные втулки должны быть закалены.

Таблица 3

Технологические припуски
при разметке стальных конструкций

Назначение припуска	Характеристика припуска	Размер припуска, мм
1	2	3
На усадку при сварке	На каждый стыковой шов	
	балок из листа:	
	• высотой до 400 мм, площадью сечения 80 см ²	1
	• высотой более 400 мм, площадью сечения более 80 см ²	1,5
	• решетчатых конструкций	1
	листовых конструкций (типа газгольдеров):	
	• вертикальные и кольцевые стыки листов толщиной менее 16 мм	1
	• вертикальные стыки листов толщиной более 16	2
	• кольцевые стыки листов толщиной более 16 мм	2,5...3
	На каждую пару приваренных ребер жесткости	0,5
	На 1 м продольного шва с высотой катета, мм:	
	• до 6	0,05
	• до 10	0,1
• св. 10	0,2	
На фрезеровку	На каждый фрезерный торец	5...6
На строжку	На каждую строганную кромку при резке:	
	• на гильотинных ножницах	3
	• кислородной вручную	5
	• кислородной машинной	3
На ширину реза	При ручной кислородной резке для толщины стали, мм:	
	• 5...25	3...4
	• 25...50	4...5
	• 50...100	5...6
	При машинной кислородной резке для толщины стали, мм:	
	• 5...25	2,5...3
	• 25...50	3...4
• 50...100	4...5	

Таблица 4

Предельные отклонения размеров

Тип детали	Вид отклонения	Предельное отклонение
1	2	3
Опорные плиты	По ширине и длине	± 5 мм
	Зазор между линейкой и поверхностью плиты на длине не более 1 м	0,3 мм
Опорные ребра, столики	По ширине	± 5 мм
	По высоте	± 3 мм
	Тангенс угла отклонения опорной поверхности от оси детали не более	0,001
Ребра жесткости и фасонки: • примыкающие по двум сторонам	По ширине и высоте	± 5 мм
	Тангенс угла отклонения примыкающих сторон не более	0,002
• примыкающие по трем сторонам	По ширине	± 5 мм
	По высоте в пределах	от -2 до -4 мм
	Тангенс угла отклонения примыкающих сторон	0,001
Диафрагмы: • примыкающие по трем сторонам	По ширине в пределах	от -2 до -4 мм
	По высоте	± 5 мм
	Тангенс угла отклонения примыкающих сторон	0,001
• примыкающие по четырем сторонам	По ширине и высоте в пределах	от -2 до -4 мм
	Тангенс угла отклонения примыкающих сторон	0,001

1	2	3
Фасонки, соединяемые с элементами внахлест	По длине и ширине	± 10 мм
	Тангенс угла отклонения любых двух сторон	0,004
Листовые детали составных сечений:		
• полки	По ширине	± 5 мм
• стенки	То же	± 2 мм
Листовые детали сварных карт и обечаек труб	По ширине	± 3 мм
	По длине	± 3 мм
	Неравенство диагоналей (Д)	0,001
Детали из фасонных профилей и составных сечений, соединяемые внахлест	По длине	± 10 мм
	Тангенс угла отклонения торца от оси профиля	0,004
То же, пристыковываемые двумя торцами	По длине	± 3 мм
	Тангенс угла отклонения стыкуемых торцов от оси профиля	0,0007
То же, при передаче усилия через торец	По длине	± 3 мм
	Тангенс угла отклонения опоры от оси профиля	0,0007

Таблица 5

Припуски на механическую обработку и усадку от сварки

Назначение припуска	Характеристика припуска	Размер припуска, мм
1	2	3
На ширину реза	При ручной кислородной резке листового проката для толщины стали, мм:	
	• 5...25	4,0
	• 28...50	5,0
	• 50...100	6,0
	При машинной кислородной и пламенно-дуговой резке листового проката для толщины стали, мм:	
	• 5...25	3,0
	• 28...50	4,0
	• 50...100	5,0
	При ручной кислородной резке профильного проката, мм	4,0
На фрезерование торцов	На каждый фрезеруемый торец	5,0
На строгание и фрезерование кромок	На каждую обрабатываемую кромку:	
	• при резке на гильотинных ножницах и кислородной ручной резке	5,0
	• при резке на газорезательных машинах	3,0
На усадку при сварке	Стыковые швы (усадка перпендикулярно стыку):	
	листовой прокат толщиной, мм:	
	• до 16	1,0
	• до 40	2,0
	• более 40	3,0...4,0
	профильный прокат:	
	• уголок, швеллер, трубы, балки с высотой стенки, мм:	
	• 400 и менее	1,0
	• более 400	1,5
	Продольные угловые швы на каждый 1 м шва	1,0

Кондукторы должны быть изготовлены с точностью, приведенной в табл. 6.

Кондукторы должны быть приняты ОТК и замаркированы с указанием даты проверки. По мере работы следует выполнять повторные проверки точности (при изготовлении конструкций нового заказа).

Предельные отклонения размеров сборочных кондукторов

Наименование параметра	Предельное отклонение, мм
Внутренний диаметр втулок	+0,15
Расстояние между центрами двух соседних втулок, в том числе по диагонали	±0,25
Расстояние между любыми втулками в группе, в том числе по диагонали	±0,35
Расстояние между группами отверстий	±1,0

Шаблоны необходимо изготавливать из материалов (металла, дерева, пластмассы, картона и др.), обеспечивающих требуемое качество шаблонов с учетом повторяемости их применения при изготовлении деталей. Предельные отклонения размеров шаблонов должны быть в два раза меньше значений, приведенных в табл. 4.

Маркировка шаблонов должна содержать: номер заказа, чертежа и детали; число деталей, диаметр и число отверстий (при наличии).

3. РЕЗКА

3.1. Процессы резки и виды оборудования

При изготовлении деталей сварных конструкций применяются следующие виды резки: резка на ножницах, резка на отрезных станках, термическая резка, резка в штампах на прессах.

Резка на ножницах. Процесс основан на упругопластической деформации, скалывании металла под давлением ножа. Разрезаемый материал заводят между нижним и верхним ножами ножниц. Под давлением верхнего ножа вначале происходит вдавливание ножей в металл на глубину 0,2...0,4 толщины, а затем скалывание металла по поверхности между остриями режущих кромок.

В производстве сварных конструкций применяются следующие виды ножниц: листовые с наклонным ножом (рис. 13, а), высечные (рис. 13, б, в), двухдисковые с наклонными ножами (рис. 13, г), однодисковые с наклонным ножом, многодисковые (рис. 13, д), ножницы для резки уголка (рис. 13, е), швеллеров и двутавров (рис. 13. ж), пресс-ножницы комбинированные, сортовые и ручные механизированные.

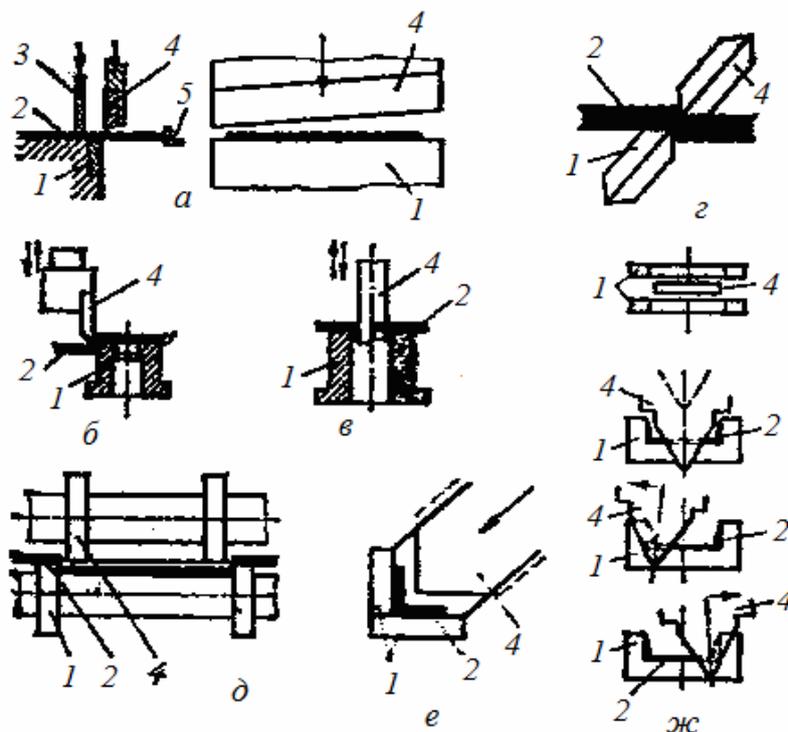


Рис. 13. Схемы резки на ножницах различных типов:

1 – нижний нож; 2 – разрезаемый материал; 3 – прижим; 4 – верхний нож; 5 – упор

Ножницы применяются для резки листового, фасонного и сортового материала малых и средних толщин и сечений. Для резки листового материала применяются ножницы: листовые с наклонным ножом, всечальные, двухдисковые одностоечные с наклонными ножами, многодисковые, прессножницы комбинированные, ножницы комбинированные, ножницы ручные механизированные. Большинство ножниц предназначено для прямолинейной резки. Фигурная резка может производиться на ножницах высечных, двухдисковых с наклонными ножами и ручных механизированных. Для поперечной резки фасонного и сортового материала применяются пресс-ножницы комбинированные, ножницы комбинированные; для резки уголка, швеллеров - ножницы сортовые.

В табл. 7 приведены разновидности ножниц и их назначение.

Отрезные станки

Отрезные станки применяются для резки труб, фасонного и сортового материала. На отрезных станках можно резать материал большего сечения, чем на ножницах, и качество резки - более высокое. Однако трудоемкость резки на отрезных станках значительно выше, чем при резке на ножницах. Поэтому отрезные станки применяются для резки профилей, которые невозможно резать на ножницах, например: для рез-

ки труб, профилей больших сечений, профилей под углом или в случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность резки. В производстве деталей сварных конструкций применяются отрезные станки с дисковыми пилами, трубоотрезные станки, а также станки со шлифовальными отрезными кругами.

Таблица 7

Оборудование для механической резки

Оборудование	Назначение
1	2
3 Ножницы листовые с наклонным ножом	Прямолинейная продольная и поперечная резка листового материала толщиной до 40 мм. Специальные конструкции ножниц позволяют производить скос кромок под сварку
Ножницы высечные	Прямолинейная, круговая и фигурная резка листового материала толщиной до 12 мм. Ножницы позволяют производить также отбортовку и рифление листового материала
Ножницы двух-дисковые односторонние с наклонными ножами	Прямолинейная, круговая и фигурная резка листового материала толщиной до 25 мм. Ножницы позволяют производить косой срез под сварку, а также отбортовку и гибку листового материала
Ножницы одно-дисковые с наклонным ножом	Скос прямолинейных и криволинейных кромок деталей из листового материала под сварку. Наибольшая ширина скоса - 25 мм, угол скоса - 25...50°
Ножницы многодисковые	Продольная резка рулонного и листового материала
Пресс-ножницы комбинированные	Резка сортового, фасонного и листового материала, пробивка отверстий и выполнение зарубок. Наибольшие размеры сечения разрезаемого материала: <ul style="list-style-type: none"> • толщина листа - 32 мм; • сечение полосы - 40×180 мм; • уголок под прямым углом 200×200×20 мм; • швеллер и двутавр № 33; • диаметр круга - 75 мм; • сторона квадрата - 65 мм; • диаметр пробиваемого отверстия до 42 мм
Ножницы комбинированные	Резка сортового, фасонного и листового материала. Наибольшие размеры сечения разрезаемого материала: <ul style="list-style-type: none"> • толщина листа - 32 мм; • сечение полосы 40×180 мм; • уголок под прямым углом 200×200×20 мм; • швеллер и двутавр № 33; • диаметр круга - 75 мм; • сторона квадрата - 65 мм

1	2
Ножницы сортовые	Резка сортового и фасонного материала. Наибольшие размеры разрезаемого материала: <ul style="list-style-type: none"> • сторона квадрата - 56 мм; • диаметр круга - 65 мм; • уголок под прямым углом 180×180×18 мм; • двутавр до № 30; • швеллер до №30
Ножницы для резки уголка	Резка уголка размером от 50×50×5 мм до 250×250×28 мм
Ножницы для резки швеллеров и двутавров	Резка швеллера № 8–40, двутавра № 10–40
Ножницы ручные пневматические и электрические	Прямолинейная и фигурная резка листового материала толщиной до 10 мм. Специальные конструкции ножниц позволяют производить скос кромок под сварку
Отрезные станки с дисковыми пилами	Резка сортового, фасонного проката и труб; диаметр круга - до 500 мм, швеллер и двутавр - до № 60
Труборезные станки	Отрезка концов труб, разрезка труб на части, снятие наружных фасок и зачистка заусенцев. Наружный диаметр труб - до 530 мм
Отрезные станки с шлифовальными кругами	Резка труб с наружным диаметром - до 150 мм

Термическая резка применяется для листового материала средних и больших толщин и труб большого диаметра. С помощью термической резки может производиться как прямолинейная, так и фигурная резка металла толщиной до 300 мм и более. Основными видами резки являются кислородная и плазменно-дуговая резка. Процесс кислородной резки основан на сгорании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся жидких окислов. В месте начала реза металл нагревают до температуры воспламенения, затем подают режущий кислород. Для подогревающего пламени используют смесь ацетилена или его заменителей и кислорода.

Плазменно-дуговая резка основана на плавлении металла в зоне реза электрической дугой и образующейся в ней струи плазмы рабочего газа. Рабочим газом при плазменно-дуговой резке являются аргон, азот, смеси аргона и азота с водородом, кислород в смеси с азотом, сжатый воздух.

Кислородной резке поддаются металлы, у которых температура воспламенения ниже температуры его плавления и температуры плавления окислов ниже температуры воспламенения и плавления металла. Плазменно-дуговая резка практически применима к любым металлам.

Кислородная резка применяется для малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной от 5 до 300 мм. Плазменно-дуговая резка применяется для малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной от 2 до 28 мм, коррозионностойких сталей толщиной до 60...80 мм, алюминиевых сплавов, меди и ее сплавов.

Плазменно-дуговая резка малоуглеродистых и низколегированных сталей до 28 мм производится на больших скоростях и обеспечивает лучшее качество реза, чем при кислородной резке. Кроме того, при плазменной резке деформации металла меньше, чем при кислородной резке. Однако кислородную резку, в отличие от плазменно-дуговой, можно осуществлять на многорезаковых машинах, поэтому вид термической резки для малоуглеродистых низколегированных сталей толщиной до 28 мм выбирают в зависимости от типа вырезаемых деталей и объема резательных работ.

Термическая резка может производиться вручную и на машинах. Ручная резка имеет ограниченное применение, т. к. она более трудоемка и не обеспечивает требуемую точность и качество поверхности. Машинная резка позволяет вырезать детали с высокой точностью, исключает трудоемкие операции разметки, обеспечивает высокую производительность и является одним из наиболее прогрессивных технологических процессов. Фигурную резку металла средних и больших толщин, а также прямолинейную резку больших толщин осуществляют исключительно термической резкой.

Машины для термической резки могут иметь различную точность исполнения контура детали. ГОСТ 5614 предусматривает три класса точности универсальных стационарных машин (табл. 8).

Таблица 8

Точность машин для термической резки

Класс точности машин	1	2	3
Предельные отклонения, мм	±0,5	±1,0	±1,5

Классы точности выбирают в зависимости от требуемой точности и качества поверхности реза вырезаемых деталей.

Предельные отклонения размеров деталей, вырезаемых из листового материала, определяются в зависимости от класса точности и номинальных размеров деталей (табл. 9).

Таблица 9

Предельные отклонения размеров деталей,
вырезаемых из листового материала

Класс точности	Отклонения (мм) при номинальных размерах детали, мм						
	до 630	630...2000	2000...2500	2500...4000	4000...4500	4500...6300	630...10000
1	±0,9	±1,0	±1,1	±1,1	±1,4	±1,4	±1,4
2	±1,4	±1,5	±1,8	±2,0	±2,0	±2,5	±2,5
3	±2,0	±2,3	±2,3	±2,5	±2,5	±2,8	±2,8

Точность и качество листовых заготовок и деталей определены ГОСТ 14792, устанавливающим четыре показателя:

- **точность** – предельные отклонения фактических размеров от номинальных без учета толщины металла;
- **неперпендикулярность реза** – наибольшее отклонение от перпендикуляра по толщине металла;

Таблица 10

Качество поверхности реза вырезаемых деталей

Показатель	Класс качества	Предельное значение (мм) при толщине разрезаемого металла, мм		
		5...15	16...30	31...50
Неперпендикулярность	1	0,2	0,3	0,4
	2	1,0	1,2	1,6
	3	1,2	1,6	2,0
Шероховатость	1	0,04	0,08	0,16
	2	0,08	0,16	0,32
	3	0,16	0,32	0,64
Глубина зоны с измененной структурой у поверхности реза аустенитных сталей при отсутствии дефектов	1	0,05	0,1	0,2
	2	0,2	0,4	0,8
	3	0,4	0,8	1,6

Примечание: для других металлов предельно допустимая глубина зоны с измененной структурой удваивается.

- **шероховатость поверхности реза** – наибольшая высота неровностей на поверхности реза;

- **величина зоны термического влияния** – максимальная толщина поверхностного слоя металла у кромок, в котором происходит изменение структуры металла.

Показатели точности и качества термической резки приведены в табл. 11.

Классы точности и качества устанавливаются в зависимости от назначения и условий эксплуатации вырезаемых деталей. При этом одна деталь может иметь разные **классы точности и качества реза**. В связи с этим детали присваивается четырехзначный номер:

- класс точности;
- класс перпендикулярности;
- класс шероховатости;
- класс зоны термического влияния.

В табл. 11 приведены показатели точности качества поверхности реза для различного назначения.

Таблица 11

Показатели точности и качества поверхности реза для деталей различного назначения

Показатель	Обрабатываемые кромки	Необрабатываемая свободная кромка				Необрабатываемая сопрягаемая кромка		
		декоративная	ненагруженная, предназначенная для коррозионной среды	статически нагруженная	динамически нагруженная	трущаяся	стыкуемая	свариваемая
Точность	3	3	3	3; 2	3; 2	2; 1	2; 1	2; 1
Неперпендикулярность	3	3; 2	3	3; 2	3; 2	1	2; 1	2; 1
Шероховатость	0	Все классы	3; 2	3; 2	1	1	2; 1	3; 2
Зона термического влияния	0-1	0	2; 1	3	1	2; 1	0	2; 1
Назначение вырезаемых деталей	Заготовки для механической обработки	Крышки, люки, накладные листы, наружные кромки фланцев	Ребра, тарелки, проемы химических аппаратов и емкостей	Элементы рам, каркасов, ферм		Звездочки, тихоходные шестерни	Дверцы, панели, стенки	Листы обшивки, обечайки, трубы, заглушки, штампованные днища, внутренняя кромка фланцев

Если по какому-либо показателю требования не предъявляют, то вместо обозначения класса ставят цифру 0. Буква перед четырехзначным числом обозначает вид резки (К – кислородная резка, П – плазменно-дуговая резка).

3.2. Образование отверстий под болтовые монтажные соединения

Все отверстия под болтовые монтажные соединения должны быть образованы на проектный диаметр на предприятии, за исключением оговоренных в проектной документации.

Образование отверстий следует производить продавливанием или сверлением.

Продавливание отверстий осуществляют на прессах по наметке, по шаблонам или с помощью специальных групповых штампов и измерительных устройств.

Образование отверстий продавливанием запрещается применять для сталей с нормативным пределом текучести более 350 МПа.

Соотношение между толщиной металла и диаметром отверстия при продавливании не должно превышать следующих величин:

- для болтов классов прочности 4,6; 4,8; 5,6; 5,8; 8,8 – не более $0,7 t / d_b$, где $t \leq 20$ мм;
- для болтов классов прочности 10,9 и выше – не более $0,5 t / d_b$, где $t \leq 12$ мм.

Запрещается производить продавливание отверстий в конструкциях I группы, согласно СНиП II-23-81*, при соотношении толщины металла и диаметра отверстий более $0,5 t / d_b$.

В случаях, не предусмотренных выше, образование отверстий продавливанием можно допускать без ограничений.

Сверление отверстий следует выполнять на сверлильных станках по наметке, кондукторам или с помощью измерительных устройств.

Образование отверстий сверлением допустимо при изготовлении конструкций без ограничений.

Номинальные диаметры отверстий под болты, как правило, следует выполнять на 2...3 мм больше номинального диаметра болта, указанного в проектной документации.

Предельные отклонения диаметров отверстий в зависимости от способа образования приведены в табл. 12.

Предельные отклонения диаметров отверстий

Способ образования отверстия	Диаметр отверстия, мм	Предельное отклонение диаметра, мм
Продавливание	до 15	+0,6
	св. 15 до 23	+0,9
	св. 23	+1,2
Сверление	до 27	+0,6
	св. 27	+0,9

Предельные смещения центров отверстий устанавливаются в проектной документации из условия собираемости конструкций при монтаже. При отсутствии в проектной документации соответствующих указаний предельные отклонения размеров между центрами отверстий назначают в соответствии со следующими правилами.

Между двумя любыми отверстиями, в том числе по диагонали:

- в пределах группы – $\pm 1,5$ мм;
- между группами (при расстоянии между группами L):
 - до 6 м... ± 3 мм;
 - свыше 6 м... $\pm 0,0005L$.

Расстояния осей отверстий от края деталей:

- влияющих на собираемость конструкций (опорные ребра, элементы с фрезерованными торцами, элементы и т. п.) – ± 1 мм;
- не влияющие на собираемость – ± 2 мм.

3.3. Гибка деталей, сплющивание концов замкнутых профилей

При изготовлении конструкций следует применять следующие виды холодного деформирования проката:

- гибка листового и профильного проката по радиусу;
- гибка листового проката «в угол»;
- сплющивание концов труб и гнutosварных замкнутых профилей.

Гибку по радиусу необходимо производить на листогибочных, профилегибочных машинах и в прессах.

При гибке по радиусу готовые детали должны удовлетворять следующим требованиям:

- зазор между поверхностью детали и шаблоном на длине шаблона 1 м не должен превышать 2 мм;

- смещение кромок поперечного сечения профильных деталей не должно превышать трехкратной величины максимальных допусков для соответствующего вида проката.

Допускается производить гибку по радиусу в кондукторах с применением местного нагрева и проковки нагретых мест. Этот метод следует применять при подгибке и правке деталей из профильного проката.

При выполнении данных видов операций необходимо соблюдать следующие правила:

- стали с нормативным пределом текучести до 350 МПа включительно следует нагревать до температуры 900...1000 °С;

- стали, поставляемые в нормализованном состоянии, следует нагревать до температуры 900...950 °С;

- при гибке и правке стали всех классов прочности с местным нагревом проковка должна заканчиваться при температуре не ниже 700 °С.

При гибке на вальцах листовых деталей, имеющих сварные стыки толщиной 16 мм и более, усиление сварных швов должно быть снято или быть не более двух миллиметров.

Гибку в угол необходимо производить на гибочных прессах и в штампах.

При гибке в угол для сталей с нормативным пределом текучести до 350 МПа минимальный внутренний радиус должен быть не менее 1,2 толщины для конструкций III-й и IV-й групп и не менее 2,5 толщины для конструкций I-й и II-й групп.

При гибке в угол кромки деталей из сталей с нормативным пределом текучести более 275 МПа, образованные ножевой резкой и расположенные перпендикулярно линиигиба, должны быть обработаны в зоне линиигиба абразивным кругом.

Гибка в угол деталей из сталей с нормативным пределом текучести более 350 МПа недопустима.

При изготовлении на предприятии стандартных гнутых профилей величины предельно допустимых отклонений геометрических размеров формы не должны более чем в 2 раза превышать требования стандартов на данные виды профилей.

Прочие гнутые детали должны соответствовать следующим требованиям:

- отклонение линиигиба от проектного положения не более двух миллиметров;

- тангенс углазагиба не должен отличаться от проектного более чем на 0,01.

Приложение А

РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА УСАДКУ

Величина припуска, компенсирующего усадку, если она не указана в технологической документации, при сварке листов встык должна быть равна 0,1 толщины свариваемых деталей на каждый стык (табл. А1). Припуски для других сечений указаны в табл. А2.

Если размеры листового или фасонного проката, поставляемого по стандартам или техническим условиям, не позволяют изготовить детали целиком, они могут выполняться составными из нескольких частей.

Таблица А1

Тип конструкции	Характеристика свариваемого сечения	Припуск на усадку при сварке
составная балка с составными стенками без ребер жесткости	высота сечения - до 400 мм	для стыковых швов по 1,0 мм на каждый стык
	более 400 мм	для стыковых швов по 1,5 мм на каждый стык
сплошная балка с ребрами жесткости	площадь сечения - до 800 см ²	по 0,5 мм на каждую пару приваренных ребер
	более 800 см ²	по 1,0 мм на каждую пару приваренных ребер
решетчатые балки	секции башен, стрел, гуськов	для стыковых швов по 1,0 мм на каждый стык

Стыки следует располагать с соблюдением следующих условий:

- в элементах металлоконструкций из листов, уголков, швеллеров, двутавров, труб между стыками должно быть не менее 4 м;
- длина пристыковываемого элемента должна быть не менее 0,5 м, и стык должен располагаться у конца основного элемента;
- в коробчатых и двутавровых сварных балках и стержнях стыки поясов должны быть смещены по отношению к стыкам стенок не менее чем на 300 мм; расстояние между поперечными сечениями, в которых располагаются стыки поясов, должно быть не менее 600 мм; стыки поясов и стенок должны отстоять от диафрагм или ребер жесткости не менее чем на 100 мм;
- стыки листов, уголков, швеллеров и двутавров, если они не предусмотрены чертежами, должны выполняться прямыми (с соответствующей разделкой кромок), без накладок.

Вертикальные листы коробчатых и двутавровых балок допускается стыковать по горизонтали (по ширине листа), располагая стык в растянутой половине балки. Расстояние от стыка до нижнего пояса должно быть не менее 20 % высоты балки.

Обработку отверстий в металлоконструкциях необходимо выполнять после окончательной сварки и правки конструкций. Обработка отверстий до сварки допускается в том случае, если приспособление для сварки металлоконструкций предусматривает фиксацию деталей по ранее обработанным отверстиям, а также если деформации после сварки не превышают допусков на расположение отверстий.

Таблица А2

Припуски на усадку при сварке

Стыковые швы (усадка перпендикулярно стыку)	Величина припуска, мм
Листовой прокат толщиной, мм:	
• до 16	1,0
• до 40	2,0
• более 40	3,0...4,0
Профильный прокат:	
уголок, швеллер, трубы, балки с высотой стенки, мм:	
• 400 и менее	1,0
• более 400	1,5
Продольные угловые швы, на каждый 1 м шва	1,0

Приложение Б

Таблица Б1

Допуски линейных размеров
(ГОСТ 21779–82. Система обеспечения точности
геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски.)

Интервал номинального размера (L), мм	Значение допуска для класса точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 20	0,24	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10
Свыше 20 до 60	0,30	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	12
Свыше 60 до 120	0,40	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0	6	10	16
Свыше 120 до 250	0,50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8	12	20
Свыше 250 до 500	0,60	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0	10	16	24
Свыше 500 до 1000	0,80	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30
Свыше 1000 до 1600	1,00	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0	16	24	40
Свыше 1600 до 2500	1,20	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	20	30	50
Свыше 2500 до 4000	1,60	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0	24	40	60
Свыше 4000 до 8000	2,00	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0	30	50	80
Свыше 8000 до 16000	2,40	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0	40	60	100
Свыше 16000 до 25000	3,00	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0	50	80	120
Свыше 25000 до 40000	4,00	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0	60	100	160
Свыше 40000 до 60000	5,00	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0	80	120	200
Значения К	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0

Таблица Б2

Допускаемое отклонение закладных деталей и анкерных болтов

Интервал размеров между осями, м	Допускаемое отклонение, ± мм, для конструкций	
	собираемых на стеллажах по разметке на болтах или в приспособлениях с укрепленными фиксаторами	с фрезерованными торцами
До 9	3	2,5
Свыше 9 до 15	4	3
Свыше 15 до 21	5	3,5
Свыше 21 до 27	6	4
Свыше 27 до 33	7	4,5
Свыше 33	$5,5\sqrt{n}$	$4\sqrt{n}$
<p><i>Примечание.</i> n – количество промеров 20-метровой лентой, $n = \frac{L}{20}$, где L – размер между осями</p>		

Приложение В

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ПРИ СБОРКЕ

При отсутствии в рабочих чертежах специальных требований предельные отклонения размеров, определяющих собираемость конструкций (длина элементов, расстояние между группами монтажных отверстий), при сборке отдельных конструктивных элементов и блоков не должны превышать величин, приведенных в СНиП 3.03.01–87.

Таблица В1

Предельные отклонения линейных размеров

Интервалы номинальных размеров, мм	Предельные отклонения, ± мм		Контроль (метод, объем, вид регистрации)
	линейных размеров	равенства диагоналей	
От 2500 до 4000	5	12	Измерительный, каждый конструктивный элемент и блок, журнал работ
Свыше 4000 до 8000	6	15	
Свыше 8000 до 16 000	8	20	
Свыше 16 000 до 25 000	10	25	
Свыше 25 000 до 40 000	12	30	

Отклонение свободных размеров отремонтированных и вновь изготовленных элементов и узлов (ТУ 22-207–88 ГПМ).

Таблица В2

Отклонение свободных размеров

Размер	Отклонение, мм
до 100 мм вкл.	±1
от 101 до 350 вкл.	±2
от 251 до 630 вкл.	±3
от 631 до 1000 вкл.	±4
от 1001 до 1600 вкл.	±5
от 1601 до 2500 мм вкл.	±6
от 2501 до 4000 мм вкл.	±7
от 4001 до 5300 мм вкл.	±8
от 5301 до 10000 мм вкл.	±9
от 10001 до 16000 мм вкл.	±10
от 16001 до 25000 мм вкл.	±12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом оборудования для заготовительных работ в производстве сварных конструкций: учебное пособие / А.Д. Гитлевич, И.Н. Сухов, Д.В. Быховский, И.Д. Кутана. – М.: Высш. шк., 1977.-136 с.
2. СНиП III-18–75. Металлические конструкции. /Госстрой СССР. – М.:ЦНИТП Госстроя СССР, 1978. -87 с.
3. Пешковский О.И. Технология изготовления металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1990. – 350 с.
4. ГОСТ 21779–82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. Издательство стандартов, 1982.-8 с.
5. РД 36-62–00. Оборудование грузоподъемное. Общие технические требования. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 30.03.2000 № 11

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	4
1.1. Геометрические погрешности и их классификация	4
1.2. Размерные цепи в сварных конструкциях.....	6
1.2.1. Общие положения.....	6
1.2.2. Расчетные формулы	9
1.3. Особенности размерных цепей в сварных конструкциях	13
1.4. О табличных припусках на сварочные укорочения.....	15
1.5. Расчетное согласование допусков на размеры конструкции	15
1.6. Сборочные размерные цепи в сварных конструкциях	18
1.6.1. Компенсация погрешностей смещением детали	18
1.6.2. Сборка в приспособлении.....	20
1.6.3. Пригонка при сборке.....	22
1.6.4. Механическая обработка сварных конструкций	23
2. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК	24
2.1. Расчет размерной цепи	24
2.2. Разметка, наметка, изготовление шаблонов и кондукторов.....	27
3. РЕЗКА	32
3.1. Процессы резки и виды оборудования	32
3.2. Образование отверстий под болтовые монтажные соединения.....	39
3.3. Гибка деталей, сплющивание концов замкнутых профилей.....	40
Приложение А Расчет припусков на усадку	42
Приложение Б	44
Приложение В Предельные отклонения при сборке	45
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	46

Учебное издание

АЗАРОВ Николай Антонович

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВАРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

Научный редактор *Б.Ф. Советченко*

Редактор *Н.Т. Синельникова*

Верстка *Л.А. Егорова*

Подписано к печати Формат 60×84/16.
Бумага «Снегурочка». Печать Херох.
Усл. печ.л. 3,02. Уч.-изд.л. 2,74.
Заказ . Тираж экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE
по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.