

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени С.П.Королева

В.М.Булатов, О.Н.Корольков, В.Н.Хивинцев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие по курсу  
"Конструкции летательных аппаратов"

Под редакцией доцента О.Н. К о р о л ь к о в а

Утверждено редакционным советом  
института 27 января 1970 г.

Куйбышев 1970

В пособии приводятся методические указания по проектированию узлов летательных аппаратов.

Рассмотрены узлы, в конструкцию которых входят детали, изготавливаемые горячей штамповкой или литьем, а также узлы, изготавливаемые сваркой.

Пособие предназначено для студентов старших курсов, выполняющих задания по курсу "Конструкции летательных аппаратов", и может использоваться при курсовом и дипломном проектировании.

## ВВЕДЕНИЕ

Выполняя задания по проектированию узлов летательных аппаратов, студент получает навыки конструкторской работы. При этом он учится правильно решать все основные вопросы, связанные с разработкой новой конструкции: обоснованно выбирать материал для проектируемых деталей; умело применять существующие методы прочностных расчетов; широко использовать при проектировании нормализованные и стандартные детали и узлы.

Одновременно с конструктивной разработкой узла должно уделяться внимание и вопросам технологии. С этой целью основные конструктивные элементы проектируемых деталей и узлов выбираются в соответствии с существующими рекомендациями по технологичности конструкций летательных аппаратов.

В первом разделе пособия приводятся общие указания по выполнению прочностных расчетов узлов, оформлению чертежей и расчетно-пояснительной записки. В последующих разделах даются рекомендации по разработке конструкций штампованных, литых деталей и сварных узлов.

В конце пособия приводится пример выполнения задания по проектированию узла летательного аппарата.

# I. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

## § I. РАСЧЕТ УЗЛА НА ПРОЧНОСТЬ

### Расчетные нагрузки

Все прочностные расчеты ведутся по расчетным нагрузкам, которые указаны в задании.

Эти нагрузки в соответствии с нормами прочности получены из нормированных эксплуатационных нагрузок  $P^э$  путем умножения их на коэффициент безопасности  $f$

$$P^P = P^э \cdot f$$

Для ответственных стыковых узлов расчетные нагрузки увеличены еще на 25%

$$P^P = 1,25 P^э f$$

Коэффициент безопасности  $f$  обеспечивает запас прочности, необходимый для того, чтобы в эксплуатации конструкция не разрушалась и не имела бы остаточных деформаций.

При действии расчетных нагрузок  $P^P$  напряжения в расчетных сечениях должны равняться разрушающим и условия прочности имеют вид

$$\sigma_{расч.} \leq \sigma_{в};$$

$$\tau_{расч.} \leq \tau_{в}$$

Отношение  $\eta = \frac{\sigma_B}{\sigma_{расч.}}$  или  $\eta = \frac{\tau_B}{\tau_{расч.}}$  называется коэффициентом избытка прочности.

Очевидно, что для уменьшения веса конструкции всегда следует стремиться к минимальной величине этого отношения. Наивыгоднейшая по весу конструкция получится при  $\eta = 1$ .

Коэффициент избытка прочности больше единицы допустим только в том случае, когда уменьшение расчетных сечений неосуществимо конструктивно. Например, когда сечение детали выбирается по нормали (болты, заклепки и др.) или когда уменьшение сечения невозможно по технологическим соображениям - трудности штамповки, литья, обработки и т.д.

### Выбор расчетной схемы

Расчетная схема устанавливает способ расчета конструкции. Заданная конструкция схематически представляется совокупностью известных элементарных конструкций: стержень, брус, балка, ферма, рама, пластина, для которых существуют способы расчета.

Переход от реальной конструкции к расчетной схеме может сопровождаться рядом упрощений: жесткое соединение заменяется шарнирным; снижается степень статической неопределимости; не учитываются некоторые элементы; изменяется способ приложения нагрузки и т.д. Выбрав расчетную схему, необходимо указать все принятые упрощения и оценить их влияние на точность расчета. Влияние может быть весьма малым и практически не учитываться, может быть заметным и направленным в сторону увеличения или уменьшения прочности конструкции. Эти оценки должны быть учтены при последующих расчетах. Если нет достаточной ясности во влиянии принятых упрощений, то следует оговорить необходимость последующей проверки прочности рассчитанной конструкции путем испытаний.

### Расчет нормализованных деталей

Расчет узла следует начинать с подбора нормализованных деталей: шарикоподшипников, болтов, заклепок, тяг.

Шарикоподшипники подбираются по статическим разрушающим нагрузкам [3], стр. 146, [5], [8]. Выбранный шарикоподшипник определяет диаметр болта, который в этом случае на срез и смятие не проверяется. В шарнирах с шарикоподшипниками ставятся болты 2-го или 3-го класса точности из высокопрочных сталей.

Болты и заклепки подбираются по разрушающим нагрузкам растяжения и среза  $P_{\text{разр}}$ , которые приводятся в расчетных нормалах АР и справочнике [3], стр. 149, 151. Избыток прочности в этом случае определяется отношением

$$\eta = \frac{P_{\text{разр.}}}{P^P}.$$

Если болт работает на совместную деформацию растяжения и среза, то он проверяется по третьей теории прочности. Для этого сначала по большей силе (среза или растяжения) подбирают по нормали диаметр болта и находят касательное и нормальное напряжения, а затем определяют приведенное напряжение

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

и сравнивают его с разрушающим

$$\eta = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\text{пр}}}.$$

Тяги управления подбираются по нормали АН-1084 [6], исходя из их разрушающих нагрузок

$$\eta = \frac{P_{\text{разр.}}}{P^P}.$$

Расчет проушины

Суммарная толщина проушины  $\delta$  определяется из условия прочности смятия под болтом

$$\sigma_{см}^p = \frac{R^p}{d \cdot \delta} \leq \mu \sigma_{в}$$

где  $R^p = \sqrt{(P_x^p)^2 + (P_y^p)^2}$  - равнодействующая нагрузок, приложенных к проушине;

$d$  - диаметр болта;

$\mu$  - коэффициент, учитывающий тип соединения.

- для соединений неподвижных и неразъемных  $\mu = 1,3 + 1,5$ ;
- для неподвижных, но разъемных соединений (стыковые узлы крыла, оперения, фюзеляжа)  $\mu = 1$ ;
- для малоподвижных соединений (узлы подвески шасси)  $\mu = 0,65$ ;
- для подвижных соединений (шарниры управления)  $\mu = 0,2$ ;
- для соединений шасси, подвижных при расчетной нагрузке (шлиц-шарнир, шарниры рычажной подвески)  $\mu = 0,2 + 0,3$ .

Избыток прочности

$$\eta = \frac{\mu \cdot \sigma_{в}}{\sigma_{см}^p}$$

Под шарикоподшипником проушина на смятие не проверяется. В этом случае толщину проушины можно принимать равной ширине наружного кольца подшипника.

Ширина проушины  $b$  определяется ее прочностью на разрыв. Независимо от направления равнодействующей  $R^p$ , за расчетное сечение принимается минимальное сечение по центру отверстия.

Условие прочности проушины на разрыв

$$\sigma^p = \frac{R^p}{(b-d) \delta} \leq K \sigma_{в}$$

где  $K$  - учитывает концентрацию напряжений и берется по графикам (стр. 150, [3]). Для проушин с шарикоподшипником

$K = 1$ .

Расчет ведется последовательными приближениями. Вначале задаются шириной проушины, затем определяют по графикам коэффициент  $K$  и находят избыток прочности. В случае неудовлетворительного избытка прочности изменяют ширину проушины и снова повторяют расчет.

Избыток прочности

$$\eta = \frac{K\sigma_s}{\sigma_p}$$

### Определение прочных размеров детали

Расчет детали начинается обоснованным выбором материала. Приводятся разрушающие напряжения и оговариваются, обладает ли материал этими напряжениями в состоянии поставки или они получаются в результате термической обработки детали.

Для определения прочных размеров конструкции проверяется прочность всех опасных сечений.

К расчету каждого сечения дается эскиз, из которого должно быть ясно положение сечения, его форма и действующие в сечении усилия.

Расчеты ведутся последовательными приближениями одновременно с разработкой чертежа детали. Вначале задаются размерами детали, а затем по известным нагрузкам ( $M$ ,  $N$ ) и характеристикам сечений ( $W$  и  $F$ ) определяют расчетные напряжения

$$\sigma_{расч.} = \frac{M}{W} + \frac{N}{F}$$

Расчет сечения заканчивается определением коэффициента избытка прочности со словесной оценкой результатов: "недостаточно прочно", "прочно", "избыточно прочно". В случае недостаточной прочности обосновывается возможность принятия сечения или необходимость его увеличения. В случае большого избытка прочности следует обосновать практическую невозможность уменьшения сечения.

В конце расчета по всей конструкции дается сводная таблица коэффициентов избытка прочности (табл. I).



Таблица I

№ п/п	Наименование детали и обозначение	Расчетные сечения	Деформация	$\eta$
1	Болт I30IC8 - 20	-	срез	1,15
2	Качалка I5.00.3I02.003	Проушина	Растяжение	1,05
3	"	I - I	Изгиб с растяжением	1,1
4	"	II - II	"	1,0
5	Подшипник	-	радиальн.	1,3

Если возникает необходимость в опытной проверке прочности, то об этом делается мотивированное заключение.

## § 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

Все детали, как правило, проходят механическую обработку. Поэтому при разработке конструкции штампованной, литой или сварной детали следует учитывать основные требования технологичности механической обработки.

Размеры плоскостей, обрабатываемых резанием, должны быть минимальными. С этой целью рекомендуется обрабатываемые места делать выступающими на величину несколько большую допуска на штамповку или литье с резким разграничением обрабатываемых поверхностей (уступы).

Желательно обрабатываемые плоскости размещать на одном уровне, что позволит обрабатывать их на проход за одну установку. Если этого сделать нельзя, то следует обрабатываемые поверхности располагать параллельно или перпендикулярно друг другу, что упростит конструкцию приспособления.

Отверстия в детали по возможности делать сквозными и одного диаметра. Глухие и ступенчатые отверстия более трудозатратны. Сквозные отверстия под подшипники качения легко получаются наиболее производительным методом - протягиванием.

Поверхность детали на входе сверла в отверстие должна быть перпендикулярна оси отверстия. При установке болтов на поверхность с уклоном не следует обрабатывать всю поверхность, а достаточно

обработать только места под болты (цекование).

Конструкция ступенчатых отверстий должна допускать обработку их с одной стороны за одну установку детали.

Следует избегать применения конических отверстий, не обеспечивающих взаимозаменяемости.

Точность расположения отверстий назначать по табл. II. I4 [1].

Конструкция проушины должна допускать фрезерование внутреннего паза на проход, что возможно в том случае, когда внутренняя поверхность проушины выполняется не по радиусу, а плоской.

Трудоемкость и стоимость детали зависит от выбора классов точности и чистоты поверхности. О выборе точности и чистоты обрабатываемых поверхностей см. [2], стр. 47 + 64 и стр. II4 + I42; [1], стр. 95 + 96. Несопрягаемые обработанные поверхности обычно имеют чистоту  $\nabla 4 + \nabla 6$ .

### § 3. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ

Конфигурация проекций и сечений детали строится с учетом штамповочных и литейных уклонов. В плане уклоны изображаются двумя линиями.

Указываются размеры, определяющие геометрию детали. Проставляются допуски и посадки. Обозначаются места, подлежащие механической обработке, и требуемая чистота поверхностей.

На чертеже необходимо указывать полностью все размеры детали. [1] стр. 452. Ссылки на плаз или шаблоны не допускаются. Указание размеров детали следует производить от баз, принятых для механической обработки. Все размеры округляются до нормальных по ГОСТ 6636 - 60, [2], стр. 10.<sup>1/</sup>

Размеры обязательно указываются с допусками. Допуски на размеры между обрабатываемыми посадочными поверхностями зависят от выбора посадки и класса точности. Рекомендации по их выбору см. [1], стр. 95 и [2], стр. 47. На чертеже предельные отклонения на эти размеры указываются с помощью общепринятых условных обозначений ( $A$ ,  $X_4$ ,  $B_3$ ,  $\Pi$  и т.д.).

1/ Следует избегать простановки размеров цепочкой, так как в этом случае отклонения на размеры суммируются и приводят к большим погрешностям.

Выбор посадок под подшипники качения можно производить на основании рекомендаций, приводимых в [2], стр. 245. Обозначение отклонений размеров вала и корпуса под внутреннее и наружное кольца подшипника производится по системе отверстия для вала и системе вала для корпуса условными буквенными обозначениями:

$\overleftrightarrow{\Phi 10C}$  - отклонение вала,

$\overleftrightarrow{\Phi 19пЛ}$  - отклонение корпуса.

Допуски на расстояния между отверстиями см. [2], стр. 213. Допуски на свободные (непосадочные) размеры между обрабатываемыми поверхностями зависят от выбранного класса точности для этих размеров. Экономическая точность свободных размеров, получаемых обработкой резанием, колеблется в пределах 5 + 7 классов точности. Допуски на эти размеры на чертеже можно не обозначать, а указывать в примечании нормаль или класс точности, по которым должны выполняться свободные размеры [9], стр. 59.

Допуски на форму и положение отдельных элементов детали - овальность, несоосность, непараллельность и т.д. обозначаются по ГОСТ 3457 - 46, [2], стр. 64.

Выбор класса чистоты поверхности производится по ГОСТ 2789-59, [2], стр. 113. Чистота поверхности и классы точности при различных видах обработки детали приводятся там же, стр. 120. Примеры применения классов чистоты поверхностей деталей см. стр. 131, [2].

Чистота поверхностей под подшипники качения стр. 133, [2]. На чертеже обозначение чистоты производится по ГОСТ 2940 - 52, [2], стр. 142 + 148.

На поле чертежа приводятся все необходимые указания и технические условия на изготовление детали.

В угловом штампе обязательно указывается материал и вес детали.

#### § 4. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА УЗЛА

На чертеже указывается узел в сборе в двух или трех проекциях с выносом разрезов и сечений по местам сочленения деталей. Проставляются основные габаритные и установочные размеры, координирующие взаимное расположение деталей.

Во всех стыковочных местах обозначаются посадки.

При разработке конструкции узла необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

В подвижных соединениях ушкового типа обязательно предусматривать зазор между ушком и вилкой. Этот зазор обеспечит подвижность соединения при перекосах оси и при излишней затяжке шарнирного болта. В неподвижных соединениях зазор между ушком и вилкой облегчает изготовление и сборку деталей стыка.

Во всех шарнирных соединениях проводки управления обязательно предусматривать установку шарикоподшипников. В корпусе качалки шарикоподшипник запрессовывается по посадке  $Pr$  или  $Pl$ , а также по посадке  $H$  или  $G$  с развальцовкой по IOCT53. Шарнирный болт в подшипнике имеет посадку  $C$  или  $D$ . Обозначение посадок шарикоподшипника см. [2], стр. 245.

Если один шарикоподшипник в ушковом соединении не обеспечивает восприятия расчетной нагрузки  $(R^P)$ , то можно поставить два подшипника либо в ушке, либо в вилке.

Наконечники тяг управления выбирать по разрушающей нагрузке [6]. Рекомендуется применять тяги с ушковыми законцовками и запрессованные в них шарикоподшипниками, а ответные вильчатые рычаги предусматривать в качалках. В случае качалок из магниевых или алюминиевых сплавов в отверстия на вилках запрессовывать стальные втулки (нормаль 8377C5I) по посадке  $Pr I_3$ .

Для крепления кронштейнов применять по возможности болты 5 класса точности вместо 3-го или 2-го. Болты 2-го и 3-го классов точности использовать только в шарнирах с шарикоподшипниками.

Болтовые неразъемные соединения рекомендуется заменять заклепочными соединениями, что упрощает и удешевляет конструкцию. Заклепки целесообразны лишь в том случае, когда действует осевое усилие, отрывающее головки заклепок или когда диаметр заклепок получается по расчету более 6-8 мм. Болты диаметром менее 6 мм в силовых креплениях не применять из-за возможности обрыва их при затяжке гайки.

Посадка нормализованных болтов осуществляется по системе отверстия и в соответствии с классом точности болта, предусмотренным нормалью.

Например, отверстие под болт I875 C I2-25 должно иметь на чертеже допуск  $\phi I2A_3$ .

Длина болта равна

$$L = S_{\text{п}} + S_{\text{ш}} + H_{\text{г}} + \Delta h$$

где  $S_{\text{п}}$  - толщина пакета;

$S_{\text{ш}}$  - толщина шайбы;

$H_{\text{г}}$  - высота гайки;

$\Delta h$  - запас нарезной части болта, равный 1-2 шагам резьбы.

В ответственных соединениях с работающими на срез болтами их резьба не должна входить в пакет и работать на смятие. В этом случае нарезанная часть болта должна заканчиваться под шайбой.

Полученную по формуле длину болта необходимо округлить до ближайшей стандартной длины в соответствии с таблицей, приводимой в нормале на каждый тип болта.

Для болтовых соединений, работающих на срез, следует применять низкие гайки и болты с укороченной резьбой [9], стр. 92 и II4.

Для контровки неразъемных болтовых соединений применять керновку болта или гайки по нормале 86АТ52. Там, где керновка невозможна, следует использовать самоконтрящиеся гайки [9], стр. II7.

Разъемные болтовые соединения контрить шплинтом по ГОСТ 397-66 [9], стр. I35. Контрить гайки пружинными шайбами в ответственных соединениях и во внутренних частях механизмов не рекомендуется из-за возможной поломки шайб.

Назначением шайб в основном является:

укрытие зоны нерабочей части резьбы (сбеги, проточки) у болтов, работающих на срез;

защита слоя антикоррозийного покрытия от повреждения при завинчивании гайки; в этих случаях ставятся преимущественно дюр-алюминиевые шайбы и только под гайку;

увеличение площади смятия; в этом случае шайбы ставятся и под гайку и под головку болта;

выравнивание поверхности (применяются радиусные, клиновидные шайбы и др.).

В местах конструкции, где нет подхода для заворачивания гаек, крепления осуществляется анкерными гайками (нормаль II6 А-50).

Размеры гнезд под ключ см. [2], стр. I9I и [9], стр. I40.

Все детали, изображенные на чертеже узла, обозначаются и заносятся в спецификацию.

МВ и ССО РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С.П. КОРОЛЕВА

кафедра

"Конструкции и проектирование летательных аппаратов"

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНОГО УЗЛА

Задание IX - 4

Выполнил: И.И.Иванов гр. 141

Принял: П.П. Петров

КУЙБЫШЕВ 1970

## § 5. СОСТАВЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка пишется от руки чернилами на одной стороне листа формата II ( A4) - 210 x 297 мм.

Слева оставляются поля для подшивки - 25 + 30 мм, справа - поля для замечаний - 20 + 25 мм. Все листы нумеруются по порядку. Пример оформления титульного листа показан на стр. 14. На первом листе показывается схема узла и исходные данные.

Текст записки должен быть четким и кратким. Запрещается применение сокращений, кроме общепринятых в литературном языке. Ссылки на литературу даются в квадратных скобках с указанием страниц, номеров графиков и таблиц, использованных при проектировании.

Все расчеты сопровождаются эскизами, расчетными схемами и эпюрами в таком количестве, чтобы при чтении записки не нужно было обращаться к чертежам. На расчетной схеме показываются места приложения, величина и направление действующих усилий, расстояния до расчетных сечений, форма и размеры расчетных сечений.

В начале расчета каждой детали указывается марка материала, его прочностные характеристики ( $\sigma_B$ ,  $\tau_B$ ) и дается краткое обоснование принятого материала с весовой, технологической и экономической оценкой его характеристик.

Расчетные формулы вначале пишутся в общем виде с пояснением всех буквенных обозначений, а затем подставляются численные значения и приводится окончательный результат с обязательным указанием его размерности. Наиболее важные результаты расчетов (избытки прочности) выносятся на правое поле листа.

После расчетов приводится краткое описание конструкции узла с указанием его технологических и эксплуатационных особенностей.

В конце записки дается оглавление и список литературы с указанием фамилии автора, названия источника, издательства и года издания.

## П. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЕТАЛИ. ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКОЙ

### § 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Горячая штамповка широко применяется в современном самолетостроении и является наиболее прогрессивным методом получения надежной и дешевой детали.

Процесс пластической деформации при штамповке уплотняет металл, ориентирует в заданном направлении волокна, обеспечивая высокие механические качества детали.

Поверхности штампованных заготовок не требуют дополнительной механической обработки (за исключением стыкуемых поверхностей). Конструктор всегда должен стремиться к тому, чтобы оставлять на этих деталях как можно больше необработанных поверхностей, а припуски на механическую обработку назначать минимальные.

Взаимозаменяемость заготовок, полученных горячей штамповкой, позволяет применять точные приспособления для их механической обработки, что повышает точность обработанных деталей при меньших затратах.

Однако необходимо отметить, что хотя горячештампованные заготовки наиболее полно удовлетворяют требованиям в отношении механических свойств, точности и чистоты поверхности деталей, но по сравнению с заготовками, выполненными другими способами (литьем, механической обработкой, сваркой), изготовление их обходится дороже из-за большой стоимости штамповочной оснастки. Затраты на изготовление штампов будут оправдывать себя лишь при большом количестве изготавливаемых деталей в серийном и крупносерийном производстве.

Стоимость штампованной заготовки может резко возрасти и в том случае, когда она спроектирована неправильно, без учета специфики



горячей штамповки. Правильно спроектированная деталь должна иметь удобоштампую форму и минимальную механическую обработку. Большой экономический эффект дает замена механической обработки чеканкой. Для того, чтобы создать простую в изготовлении и обработке штамповку конструктор должен: правильно выбрать линию разбега штампа; выдержать допустимую толщину и предусмотреть уклоны полотно детали; выдержать допустимые расстояния между ребрами; выдержать допустимые толщины вертикальных стенок и ребер; правильно выбрать радиусы закруглений; правильно выбрать величины штамповочных уклонов; обусловить допуски на размеры штамповки; указать минимальные перемычки и зоны обработки.

При проектировании горячештампованной заготовки следует предусматривать оборудование, на котором она будет изготавливаться, и учитывать его возможности [1], стр. 433.

## § 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ШТАМПУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

При выборе материала для поковок и штамповок необходимо учитывать как штампуемость материала, так и обрабатываемость резанием, поскольку штампованные заготовки обычно подвергаются последующей механической обработке.

Рекомендуется применять следующие материалы, освоённые в серийном производстве:

конструкционные стали - 25, 45, 30ХГСА, 40Х, 12ХНЗА, 30ХГСНА, 18ХНВА;

нержавеющие стали - 1Х18Н9Т (11Т), Ж2, СН2, СН3;

алюминиевые сплавы - АК6, Д1, В95 (лучше АК6) АК-8, Д16;

магниевые сплавы - МА2, ВМ65-1 (лучше МА2)

титановые сплавы - ВТЗ-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6;

медные сплавы - ЛС59, Л62.

## § 3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ

Детали, изготавливаемые из штампованных заготовок, должны иметь простую геометрическую форму. Усложнение формы детали увеличивает расход металла за счет избыточного отхода его в облой и приводит к быстрому износу штампа. Кроме того, детали сложной формы требуют большого количества ударов молота, что снижает производи-

тельность оборудования.

При выборе формы детали, изготавливаемой штамповкой, следует руководствоваться следующими рекомендациями.

1. Необходимо избегать резких переходов по сечению детали. Иногда выгодно одну деталь с резкими переходами заменить двумя более простыми и технологичными, которые затем соединятся между собой каким-нибудь неразъемным соединением.

2. Правые и левые детали одного типоразмера следует проектировать так, чтобы их можно было изготавливать из одной и той же заготовки. Очень часто незначительные изменения конструкции или размеров детали позволяют получать детали отраженного вида из одной заготовки.

3. Цельноштампованные детали иногда целесообразно заменять деталями, состоящими из отдельных штампованных и сварных между собой частей. Такое конструктивное решение может дать большую экономию металла и значительно снизить объем механической обработки.

4. Не следует придавать деталям форму, вызывающую боковое смещение штампов. Для устранения боковых неуравновешанных усилий при штамповке уклоны выступающих частей детали должны быть симметричными.

5. Следует избегать узких слабо развитых отростков, расположенных в плоскости разреза штампа или перпендикулярно к ней. Узкие отростки трудно заполняются металлом и требуют поэтому больших напусков, что увеличивает расход металла и усложняет последующую механическую обработку.

6. С технологической точки зрения предпочтительнее детали открытых сечений (тавровые, крестообразные) нежели закрытых (двутапровые, швеллерные). Однако в весовом отношении последние более выгодны, если сечение работает на изгиб.

7. Во внутренних углах штампуемых деталей не должно быть резких переходов, которые приводят к появлению трещин.

8. Желательно подходить к ребрам жесткости к проушинам и бобышкам осуществлять таким образом, чтобы механическая обработка не подрезала ребер (при плюсовых допусках).

Примеры выбора рациональных форм деталей различной конфигурации см. [1], стр. 393 и 445.

#### § 4. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

##### Выбор линии разреза штампа

Пересечение поверхности разреза с боковыми поверхностями ручья штампа образуют линию разреза. Положение детали относительно штампа следует выбирать таким образом, чтобы линия разреза проходила по периметру наибольшей площади сечения детали. В этом случае глубина штампа получается минимальной.

Рекомендуется детали придавать такую форму, чтобы линия разреза лежала в одной плоскости или максимально приближалась к этому. Участки ломаной линии разреза должны иметь углы наклона к горизонтальной плоскости не более  $60^{\circ}$ .

В деталях с двусторонними выступами, ребрами или выемками линию разреза следует намечать по середине боковой поверхности наибольшего периметра детали, что облегчает обнаружение сдвига штампов.

Для деталей коробчатой формы линию разреза лучше задавать по верху стенок, чем по днищу, что исключит брак по трещинам в основании ребер, (см. фиг. У1.32-33 [1]).

Стоимость штампа может быть значительно снижена, если всю деталь расположить в нижней половине штампа. Верхняя половина в этом случае будет гладкой и может использоваться как боек при изготовлении многих деталей. Такая конструкция штампа повышает точность штамповки, так как смещение половинок штампа не влияет на размеры детали.

Примеры правильного выбора линии разреза для различных деталей см. [1], стр. 397.

##### Выбор толщины и угла наклона полотна

Полотном штампованной детали называется плоская стенка, расположенная в плоскости разреза штампа. Толщина полотна оказывает большое влияние на износ штампа, качество штампуемых заготовок и работоспособность штамповочного оборудования. Слишком тонкое полот-

но увеличивает износ штампа; при штамповке тонкое полотно быстро застывает, что приводит к браку заготовки, а иногда и к поломке штока молота.

Рекомендуемая толщина полотна в зависимости от площади проекции детали на плоскость разъема штампа, формы сечения и материала детали приводится в табл. У1.6; У1.7 [1].

Для деталей с закрытыми сечениями (двутавр, швеллер) рекомендуется предусматривать в полотне отверстия облегчения, в которые при штамповке собирается избыточный металл, заключенный между ребрами. Само отверстие облегчения получается затем просеивкой на обрезном штампе. Минимальное расстояние от ребра до края отверстия облегчения, получаемое без механической обработки, приводится в табл. У1.49 [1]. Площадь отверстия облегчения должна составлять не менее 50% от площади полотна.

Для облегчения процесса штамповки заготовок с закрытыми сечениями и тонкими полотнами рекомендуется полотно делать с уклоном, утолщающимся от середины к ребрам. Углы наклона полотна приводятся в табл. У1.13+16 [1].

#### Выбор расстояния между ребрами

Наименьшее расстояние между ребрами  $a_{\min}$  зависит от высоты ребра  $h$ . Наибольшее расстояние  $a_{\max}$  зависит от толщины полотна  $S$ . Предельные значения  $a_{\max}$  и  $a_{\min}$  для различных материалов в зависимости от  $h$  и  $S$  приведены в табл. У1.8 [1].

При наличии отверстия облегчения, площадь которого не менее 50% площади полотна, наибольшее расстояние между ребрами не ограничивается. Если высота ребер закрытого сечения неодинакова, то наименьшее расстояние между ребрами выбирать как среднее арифметическое расстояний, определяемых по наибольшей и наименьшей высотам ребер. Часто в практике проектирования приходится решать обратную задачу: по известному расстоянию между ребрами определять их максимально допустимую высоту. Эта задача легко решается с помощью тех же таблиц.

### Выбор толщины вертикальных стенок и ребер

Минимально допустимая толщина вертикальных стенок и ребер  $2R$  зависит от высоты ребер  $h$  и расстояния между ребрами  $a$ . Обычно толщина ребра в 6,5 - 7 раз меньше его высоты. Для ребер небольшой высоты ( $h \leq 10$  мм) толщина ребра назначается в 2 + 3 раза меньше высоты.

Рекомендуемые минимальные толщины ребер  $2R_1$  в зависимости от  $h$  и  $a$  для различных сечений и материалов приводятся в табл. У1.9+У1.16 [1].

Назначение толщины ребра больше минимально допустимой величины облегчает условия штамповки и делает деталь более технологичной.

При наличии в полотне отверстия облегчения толщину ребра можно уменьшить, беря значения  $R_1$  для  $a_1$ , меньшего на один интервал.

Для деталей закрытого сечения (двутавр, швеллер) следует избегать переменных по толщине ребер, так как такие ребра усложняют и удорожают изготовление штампа. В деталях с переменным расстоянием между ребрами и переменной высотой ребер толщину ребер можно определять по приведенным величинам

$$a_{\text{пр}} = \frac{a_{\text{max}} + a_{\text{min}}}{2} (1 + \sin \alpha);$$

$$h_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{max}} + h_{\text{min}}}{2} (1 + \sin \alpha),$$

где  $\alpha$  - угол наклона ребра или верхней кромки ребра к оси детали.

Для сечений с неодинаковыми по высоте ребрами толщину ребер выбрать одинаковой и по наибольшему ребру.

### Выбор радиусов сопряжений, закруглений и переходов

Радиусы сопряжения ребер и полотна  $R$ , закругления вершин ребер  $R_1$  и переходов одного ребра в другое  $R_2$  зависят от высоты ребер  $h$  и расстояния между ребрами  $a$ . Реко-

рекомендуемые значения  $R, R_1, R_2$  для различных сечений и материалов приведены в табл. VI.9+VI.16 [I]. В таблицах приводятся минимально допустимые значения  $R, R_1, R_2$ . Изменение их в сторону увеличения не ограничивается.

При наличии в полостях отверстия облегчения радиус сопряжения ребра с полотном  $R$  можно уменьшить, беря его значение из таблицы для  $\alpha$ , меньшего на один интервал.

При переменной высоте ребра и переменном расстоянии между ребрами следует применять переменный радиус сопряжения ребер с полотном.

Для закрытых сечений с неодинаковыми по высоте ребрами радиус сопряжения ребер с полотном рекомендуется выбирать одинаковым и по наибольшему ребру.

#### Выбор штамповочных уклонов

Различают штамповочные уклоны двух видов: наружные  $\alpha$  и внутренние  $\beta$ .

Для лучшего удаления отштампованной детали из полости штампа величина  $\beta$  всегда должна быть больше или равна  $\alpha$ .

Разные уклоны для наружных и внутренних поверхностей целесообразно применять лишь для деталей или элементов детали, имеющих форму тела вращения, для которых полость штампа изготавливается расточкой на станке.

Для закрытых сечений (двутавр, швеллер) следует наружные и внутренние уклоны брать одинаковыми, что значительно упростит и удешевит изготовление штампов.

Если в различных местах детали получаются разные штамповочные уклоны, то их нужно унифицировать, оставляя разные уклоны только там, где это не вызывает затруднений при изготовлении штампа.

Рекомендуемые величины штамповочных уклонов для деталей различных сечений и материалов приводятся в табл. VI.1+VI.5 [I].

При переменных высотах  $h$  и толщинах ребер  $2R$ , выбирается один постоянный уклон по приведенным величинам:

$$h_{np} = \frac{h_{max} + h_{min}}{2} (1 + \sin \alpha);$$

$$2R_{np} = \delta_{np} = \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2} (1 + \sin \alpha).$$

## § 5. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ШТАМПОВАННОЙ ДЕТАЛИ

При разработке чертежа на деталь, изготавливаемую горячей штамповкой, следует учитывать следующие рекомендации.

Построение и координацию ребер жесткости лучше всего вести от их осевых линий, что сокращает количество размеров.

Толщина ребер указывается или диаметром скругления его вершины ( $2R_1$ ), или, если радиусы скругления разнесены, расстоянием между точками пересечения боковых граней с верхней плоскостью ребра.

При указании размеров не рекомендуется координировать положение радиусов. Нельзя ставить размеры от основания наружного уклона (линии разъема штампа), так как место среза облоя получается неровным и размеры в этом случае будут иметь слишком большие отклонения от номинала. Подробнее о простановке размеров см. [1], стр. 452.

На чертеже обязательно проставляются допуски на все размеры между необрабатываемыми поверхностями. Все допуски на эти размеры указываются в числовых значениях. Указание допусков в примечаниях не разрешается. По нормали АН 1032 - 54 для горячештампованных заготовок предусматривается три класса точности: 4-й, 5-й и 6-й, в соответствии с которыми назначаются допуски на размеры между необрабатываемыми поверхностями.

4-й класс точности требует специально подготовленной заготовки, дорогостоящей многоручьевого оснастки и применения горячей калибровки. Допуски по 4 классу имеют ограниченное применение.

5-й класс точности применяется без ограничений. Для достижения допусков по 5 классу горячей калибровки не требуется.

6-й класс точности применяется в исключительных случаях для отдельных нетехнологичных элементов мелких деталей, механическая обработка которых затруднена.

В таблицах У1.18+У1.31 [1] приводятся отклонения на вертикальные и горизонтальные размеры, на межосевые расстояния, на радиусы сопряжений и другие размеры деталей. С помощью этих таблиц определяются допуски на все размеры между необрабатываемыми поверхностями. Если одна из двух противоположных поверхностей детали обрабатывается, то допуск на размер между этими поверхностями равен половине соответствующего допуска на размер между необрабатываемыми

мыми поверхностями, взятого по таблицам.

Допуск на размер между осевой линией и необрабатываемой поверхностью равен половине допуска на удвоенный размер плюс допускаемое смещение штампа, взятое по таблице У1.30 [I].

На чертеже обязательно указывается минимально допустимая толщина перемычек у проушин. Эта толщина определяется по допустимым отклонениям на внешний и внутренний размеры проушины, допустимому смещению штампа в плоскости разреза (стр. 416, [I]) и зависит от выбора базы для механической обработки стр. 449 [I].

Допуски на размеры, полученные чеканкой, определяются по таблицам У1.32+У1.33 [I].

На чертеже обязательно указывается вид антикоррозийного покрытия детали. В табл. 2 приводятся рекомендуемые покрытия для штамповок и обозначение покрытия на чертежах.

Таблица 2

Материал	Покрытие	Обозначение на чертеже
Сталь 25, 45, 30ХГСА; детали малонагруженные	Цианистое или кислое цинкование, обезводороживание и пассивирование	Цинковать
Детали, подвергающиеся износу от песка, грязи:	1. Цинкование (кадмизация цинком)	Цинковать и окрасить (кадмировать и окрасить; металлизировать и окрасить)
$\sigma_p \leq 110 \text{ кг/см}^2$	2. Окраска эмалью с холодной или горячей сушкой	
30ХГСА $\sigma_p > 140 \text{ кг/мм}^2$	Металлизация цинком с последующей окраской эмалью; сушка холодная или горячая	Металлизировать и окрасить эмалью А - I4 Ф
30ХГСА $\sigma_p > 40 \text{ кг/мм}^2$		
Алюминиевые сплавы Д1, АК6, В95.	Анодирование в серной кислоте с наполнением окисной пленки хромиком; не позже, чем через 24 часа покрытие грунтом АЛГ-I с горячей сушкой	Анодировать, грунтовать АЛГ-I с горячей сушкой
Магниевые сплавы МА8, ВМ65-I и др.	Оксидирование и, не позже чем через 24 часа, лакокрасочное покрытие	Покрытие по инструкции ВИАМ



I	2	3
Алюминиевые и магниевые детали, имеющие места под запрессовку и посадки 2,3 классов точности	Посадочные места после анодирования (оксидирования) могут дорабатываться до размера. При грунтовке (окраске) эти места защищаются вазелином или пушечным маслом; перед запрессовкой смазка удаляется, а запрессовка производится на грунте АЛГ-I	Для алюминиевых сплавов: анодировать, грунтовать АЛГ-I. Запрессовку производить на грунте АЛГ-I. Для магниевых сплавов: покрытие по инструкции ВИАМ. Запрессовку производить на грунте АЛГ-I

Ряд технических требований и дополнительных указаний по изготовлению детали записываются в примечаниях. Эти примечания должны быть краткими, ясными и исчерпывающими. Их рекомендуется размещать в правой части чертежа и нумеровать по порядку. Подчеркивать не рекомендуется. В примечаниях обычно даются следующие условия.

Указывается, что в опытном производстве деталь разрешается изготавливать из поковки на металлорежущих станках с соблюдением штамповочных уклонов, радиусов переходов, толщины и высоты ребер и т.д., чтобы технические характеристики опытных машин не отличались от серийных.

Если деталь выполняется с одним штамповочным уклоном, то его на чертеже можно не обозначать, оговорив величину уклона в примечании. Если же в детали применяются различные штамповочные уклоны, то преобладающий уклон указывается в примечании, а остальные проставляются на чертеже.

В примечании указываются допуски на свободные (обрабатываемые) размеры. Эти допуски регламентируются нормалью 22АТ52. Иногда просто указывается класс точности для этих размеров: "Допуски на свободные размеры по  $A_7$  и  $B_7$ ".

Указывается величина необозначенных радиусов скругления или пишется "острые кромки затупить по  $R = 0,5 \text{ мм}$ "

Оговаривается группа контроля детали. Различают три группы контроля.

Первая группа - особо ответственные детали. Механические свойства детали проверяются на образцах, вырезаемых из специально предусмотренных припусков на детали.

Вторая группа - ответственные детали. Механические свойства проверяются на одной детали из партии.

Третья группа - все детали, которые не подвергаются специальным испытаниям.

Для деталей, подвергающихся специальным видам контроля - магнитный, рентгеновский и др. - в примечаниях делается соответствующая запись об этом и дается схема контроля.

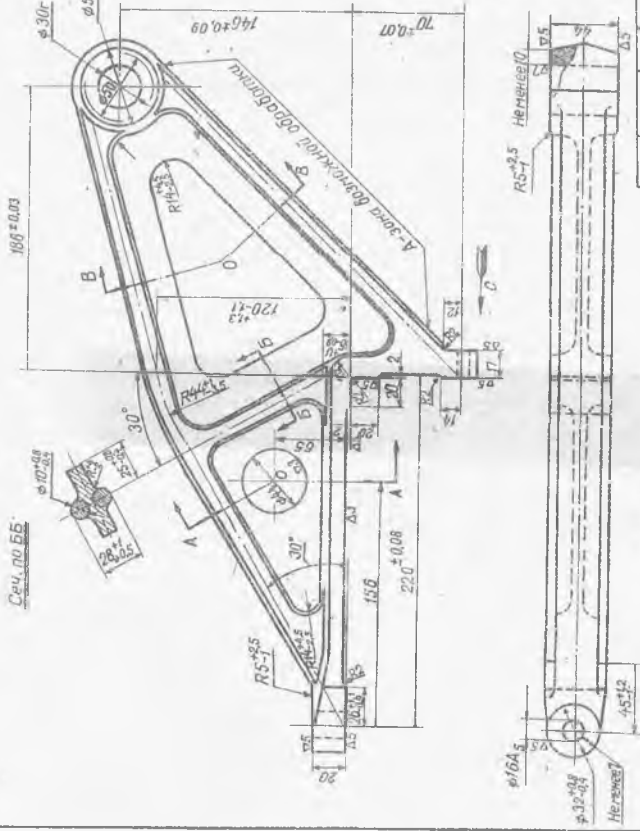
В примечаниях указывается максимально допустимый вес детали и оговариваются места механической обработки для подгонки детали по весу. Вес детали определяется по номинальным размерам, а привес детали за счет положительных линейных отклонений как положительное весовое отклонение. В угловом штампе в графе "Вес детали" пишется, например,  $3,5 + 0,3$  кг, а в примечании указываются места для снятия лишнего металла, если деталь имеет вес больше 3,8 кг. Зона снятия излишков металла выбирается из условия простоты механической обработки: прямолинейные участки для скоростного фрезерования, сверление отверстий облегчения в полотно детали.

Методика определения привеса штампованной детали приводится в [1], стр. 422. Пример чертежа на штампованную деталь, оформленный с учетом всех перечисленных требований, дан на фиг. 1.

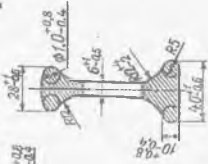
50.070.00.4С

Ил. № 1

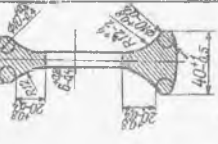
Сеч. по ББ



Сект. по АА



Сект. по ВВ



**Примечания**

1. Штанпоочные уклоны  $5 \pm 1^\circ$
2. Нанесенные закрутки  $R=2 \text{ мм}$
3. Допуски на металлообрабатываемые части штанпоочки по АН-1032, 5-й класс.
4. Максимальный вес не более 2,7 кг.
5. Привести по весу можно производить за счет снятия уклонов в зоне А (гэ).
6. В группу контроля III. Проверить на отсутствие трещин.
7. Изготовленные детали из пакета, соединенно с деталями 34.00.3100.001 в приспособлении.

Вид по стрелке С



Кал.	34.00.3100.000	С	34.00.3100.003.002
Кол.	К сборочн. №	С	34.00.3100.003.000
<b>Кронштейн</b>			
34.00.3100.003			
Взвешен			
Витков Вес без массы			
С			
2,4 кг			
1:2			
Лист 1			
Всего листов			
Чертёж с			
Рис. №			
Гр. №			
Муш. №			

## III. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЕТАЛИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ ЛИТЬЕМ

### § 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Производство деталей из литых заготовок является наиболее экономичным способом по сравнению с другими способами их изготовления: механической обработкой из поковок, штамповкой, сваркой.

Литые заготовки обеспечивают получение деталей самой сложной конфигурации и максимальное приближение по форме к готовой детали за счет применения минимальных уклонов, радиусов, литых отверстий. Литые детали обладают однородностью механических свойств во всех направлениях и повышенной жаропрочностью. Но, вследствие пониженных механических свойств литых деталей по сравнению со штампованными, их применение несколько ограничено. Однако прочность литой детали зависит не только от механических свойств материала, но и от общего конструктивного оформления самой детали. В литой детали более рациональным распределением материала по сечению (двутавр, швеллер) можно увеличить момент инерции сечения, а следовательно, и прочность детали при минимальном весе.

### § 2. ТРЕБОВАНИЕ К ЛИТЫМ ДЕТАЛЯМ

Литые заготовки в той или иной степени подвергаются механической обработке, поэтому литая деталь наряду с требованиями литейной тех-

нологии должна отвечать требованиям технологии механической обработки. Общие требования к литым заготовкам сводятся к след:

1. При выборе материала необходимо учитывать не только технические, но и технологические требования (литейные свойства, обрабатываемость резанием; свариваемость и др.).

2. Литая деталь должна иметь минимальное количество обрабатываемых поверхностей. Это уменьшает трудоемкость детали и способствует сохранению ее прочности, так как при механической обработке снимается наиболее прочный слой металла - литейная корка.

3. Форма обрабатываемых поверхностей должна обеспечивать удобство механической обработки и возможность применения наиболее производительных методов.

4. Конструкция литой детали должна устранять возможность коробления детали в процессе остывания отливки. Для этого форма детали должна обеспечить равномерное остывание отливки - равномерные по толщине стенки, отсутствие скопления материала в детали.

5. Выбирать уклоны, радиусы закруглений, ребра следует с учетом возможности применения нормализованных инструментов для изготовления моделей и металлических форм.

### § 3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

В качестве конструкционных материалов для литых деталей в самолетостроении применяются стали, алюминиевые и магниевые литейные сплавы.

При выборе материала для литой заготовки необходимо учитывать величину и характер расчетной нагрузки; технологические свойства литейного материала (литейные свойства, механическая обрабатываемость, свариваемость и т.д.); сложность конфигурации детали.

Наиболее часто применяемыми материалами для литейных заготовок являются стали: 10, ЛР4СГ2, Л35ХГСА, ЭИ268Л; алюминиевые сплавы: АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВМ-11-3, АЛ19; магниевые сплавы: МЛ5, МЛ-7-1, МЛ11.

Характеристики литейных сплавов приведены в [1], стр. 335.

#### § 4. ВЫБОР СПОСОБА ЛИТЬЯ

Конструктивное оформление детали зависит от применяемого способа литья. Поэтому, исходя из технологических требований к детали, конструктор должен задать определенный способ литья.

В самолетостроении в серийном производстве применяются: литье в песчаные формы; литье в кокиль; литье в оболочковые формы; литье по выплавляемым моделям; литье под давлением.

Выбор способа литья зависит от масштабов производства, размеров детали, ее конфигурации, требований прочности, чистоты поверхности и точности. Применение точных способов литья требует значительных затрат и экономически должно быть оправдано. Сравнительная характеристика и экономическая целесообразность применения способов литья приведена в табл. У.8 и У.9 [1].

#### § 5. ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. Следует упрощать по возможности форму моделей и стержней.
2. Модель детали должна иметь достаточную конусность (литейные уклоны  $2 : 5^{\circ}$ ), чтобы легче было извлекать ее из формы.
3. Для стенок, перпендикулярных к плоскости разъема, необходимо предусматривать минимальный уклон не менее  $1^{\circ}$ . Рекомендуется по внутренней поверхности стенки при литье из алюминиевых или магниевых сплавов в металлические формы литейный уклон  $2^{\circ}$ , по внешней -  $1^{\circ}$ . Для обшивок и небольших выступов при литье в землю уклон должен быть  $30^{\circ}$ . При конструировании моделей следует избегать выступов или подрезов. Выбор литейных уклонов производить по таблице У.14 [1]. Край модели должны быть закруглены.
4. Желательно иметь один разъем формы и, по возможности, простой.
5. При вертикальном расположении стенок качество отливки получается лучше, чем при горизонтальном.
6. Избегать больших горизонтальных плоскостей.
7. Необработываемые отверстия снабжать бортиками или закруглять их.
8. Количество обрабатываемых после литья поверхностей должно

быть минимальным.

9. Желательно иметь стенки одинаковой толщины, избежать скопления металла для более равномерного остывания и кристаллизации металла.

10. При конструировании отливок надо стремиться выбирать сечение с большим моментом инерции (двутавр, швеллер). Особенно это важно для литья из Al и Mg сплавов, так как для них  $E$  меньше, чем для стали. В соответствии с этим рекомендуется проектировать коробчатые сечения, укреплять стенки ребрами, придавать стенкам двутавровое сечение.

11. Наилучшими механическими свойствами обладают тонкие стенки, поэтому рекомендуется выбирать минимальную толщину стенок, учитывая возможности того или иного способа литья. Минимальную толщину стенок выбирать по таблице У.10 [1].

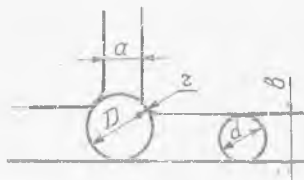
12. При конструировании тонкостенных деталей рекомендуется предусматривать отверстия или ребра, что улучшает заполняемость формы. Расстояние между ребрами или стенками выбирается по таблице У.11 [1].

13. Переходы в местах сопряжений стенок должны быть плавными, выполненными по радиусу. При малых радиусах закруглений в сопряжениях стенок появляются трещины в отливках. При больших радиусах наблюдается скопление металла, которое при остывании отливки приводит к образованию усадочных раковин или рыхлот. Величину радиусов рекомендуется брать по нормальному ряду, принятому в машиностроении табл. У.15 [1].

Минимальный радиус при сопряжении стенок, отливаемых под давлением 0,3 мм, при литье по выплавляемым моделям 0,25 мм, при литье в песчаные, оболочковые формы и в кокиль - 3 мм.

14. При выборе радиусов для сопряженных стенок или ребер следует пользоваться правилом вписанных окружностей.

Отношение  $\frac{D}{d} < 1,3$  при заданной толщине сопрягаемых стенок. Величина  $z$  определяется



$$z = \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right) (a + b).$$

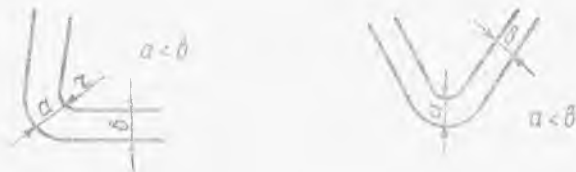
Фиг. 2.

При сопряжении стенок или ребер толщиной до 6 мм с массивными частями радиус закругления  $\tau$  принимается равным толщине тонкой стенки ( $\sigma$ ).

15. Для уменьшения сиюпления металла в местах сопряжения стенок с ребрами рекомендуется толщину ребра брать  $0,6 + 0,8$  от толщины стенки.

16. Основных способов соединений стенок в профили пять:  
L, T, V, X, Y - образные.

17. При проектировании L и V - образных соединений рекомендуется скруглять внутренние и внешние углы, как показано на фиг. 3.



Фиг. 3.

С увеличением радиуса  $\tau$  внутреннего угла увеличивается размер  $a$  и вероятность дефекта в этом месте (усадочная раковина или рыхлота). Наилучшие результаты получаются при соотношении  $a < b$ . Увеличение наружного радиуса у V-образных соединений приводит к устранению дефекта.

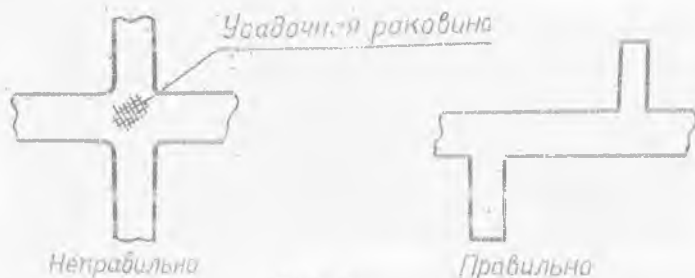
18. Для T-образных соединений следует брать толщину стенки меньше толщины полки на  $20 + 40\%$  или делать углубление в верхней полке (фиг. 4):



Фиг. 4.



19. X - образных соединений по возможности избегать, превращая их в T-образные (фиг.5)



Фиг. 5.

Увеличение радиусов закруглений в месте сопряжения увеличивает размер дефекта.

20. Y - образные соединения применять не рекомендуется, так как дефекты в них неизбежны, если нет питания от прилива или не применяется специальное охлаждение. Если в Y - образном сопряжении жесткость достаточна, то рекомендуется сопряжение производить так, как показано на фиг. 6.



Фиг. 6.

21. Отверстия в литых заготовках предусматриваются тогда, когда невозможно их выполнить другим способом (сложная конфигурация) или когда можно и целесообразно избежать механической обработки. Минимальные размеры отверстий определяются по таблице У.12, [1].

Более подробно правила конструирования стальных, алюминиевых и магниевых литых деталей см. в [1].

#### § 6. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ЛИТОЙ ДЕТАЛИ

В оформлении чертежей литых деталей имеются следующие особенности.

Точность размеров литых деталей зависит от способа литья, габаритных размеров и сложности детали. Точность детали назначается конструктором, исходя из требований к детали с учетом эконо-

номической целесообразности получения детали с заданной точностью.

Условия получения различной точности деталей даны в таблице У.16 [I].

Точность литой детали назначается по одному из классов, соответствующему точности большинства размеров, и указывается в технических требованиях в следующей редакции: "Отклонение размеров необрабатываемых поверхностей по нормали 56-15 (ЛТ-5), кроме указанных особо".

В том случае, когда требуется ужесточение допуска на отдельные виды размеров, разрешается указание отклонений на размер в числовом значении.

Допуски на размеры литых деталей из цветных сплавов (нормаль 56-15) приведены в [I], стр. 357.

Кроме общих требований чертежи литых деталей должны содержать следующие технические требования.

1. Группа контроля детали. Для наиболее тщательного контроля высоконагруженных ответственных деталей указывается группа контроля по следующим признакам:

1-я группа - детали, поломка которых может привести к аварии самолета.

2-я группа - детали, поломка которых не может привести к аварии самолета.

2. Места рентгеновского просвечивания.

3. Места вырезания образцов для механических испытаний.

4. Литейные уклоны.

5. Точность размеров детали.

6. Величину внешних технологических радиусов закруглений.

7. Технические приливы, необходимые для дальнейшей механической обработки (для зажима в патроне, в центрах), показывать штрихпунктиром.

Выбор покрытия для литой детали можно производить по таблице 3.

Примеры чертежей см. стр. 385 [I].

Таблица 3

Защитные покрытия для литых деталей

Материал	Электрохимические защитные покрытия	Лакокрасочные покрытия	Обозначение в чертежах
АЛ2, АЛ4, АЛ9	Анодирование в серной кислоте с наполнением окисной пленки хромпиком. Контроль толщины пленки по режиму анодирования	<p><u>В деталях до агрегатной сборки</u></p> <p>допускается вместо анодирования произвести покрытие одним слоем грунта АЛГ-1 или АЛГ-8. Сушка горячая</p> <p><u>После агрегатной сборки</u></p> <p>Покрытие наружной поверхности под цвет всего изделия</p>	<p>Анодировать.</p> <p>Грунтовать грунтом АЛГ-1 или АЛГ-8.</p> <p>Сушка - горячая</p>
Детали из магниевого сплавов, имеющие места под запрессовки и посадки 2-го класса точности.	Химическое оксидирование	Лакокрасочное покрытие не позднее чем через 24 часа после оксидирования	Покрытие по инструкции ВИАМ; запрессовку производить на грунте АЛГ-1
Стальные детали сложной конфигурации, недоступные для цинкования, а также детали с $\sigma_{\text{в}} \leq 110 \text{ кг/мм}^2$	<p>Кадмировать. Толщина слоя кадмия 10+15 мк. Обезводородить с последующим пассивированием. Или</p> <p>2 фосфатировать в хромпике с промасливанием</p>	Обезжирить и окрасить эмалью А-14	Кадмировать (фосфотировать) и окрасить А-14. Сушка горячая
Механически обработанные стальные детали	<p>Цианистое или кислое цинкование. Толщина цинка 15-20 мк. Обезводородить с последующим пассивированием.</p>	Цинковать	

## IV. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СВАРНЫХ УЗЛОВ

### § I. ХАРАКТЕРИСТИКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Наиболее производительными процессами являются точечная и роликовая сварка, автоматическая сварка в среде защитных газов и дуговая сварка под слоем флюса.

Максимальное коробление сварных соединений имеет место при ацетилено-кислородной и атомно-водородной сварке. Минимальные коробления обеспечивает точечная контактная сварка, роликовая, автоматическая аргоно-дуговая, автоматическая под слоем флюса, ручная аргоно-дуговая и дуговая сварка.

Наиболее дешевыми видами сварки являются контактная точечная, роликовая, рельефная и стыковая сварка, сварка в углекислом газе, автоматическая аргоно-дуговая сварка без присадки, сварка под слоем флюса.

Следует отметить, что несмотря на сравнительно более высокую стоимость аргоно-дуговой сварки при изготовлении тонко-листовых конструкций из нержавеющей жаропрочных сталей и легированных сплавов применение ее целесообразно ввиду высокого качества и прочности сварных соединений, выполненных этим способом сварки.

К сварным конструкциям предъявляются следующие общие требования:

1. Максимально возможное применение автоматических и механизированных способов сварки. Для этого соединения в конструкциях должны быть прямолинейными или с постоянным радиусом кривизны.
2. Несложность сварки и подгонки свариваемых кромок под сварку.
3. Расположение соединений должно быть доступно для выполнения сварочных работ на соответствующем сварочном оборудовании и для осуществления контроля сварных швов.
4. Расстояния от бортов и других выступающих частей до места сварки, размеры нахлесток и другие параметры для соответствующего вида сварки должны строго соответствовать требованиям, указанным

в [1] и [7] .

5. Рекомендуется избегать наложения одних сварных швов на другие и концентрировать их в местах резкого перехода толщин материалов.

6. Следует учитывать возможность возникновения значительных короблений при большом количестве рядом расположенных сварных швов.

7. Необходимо обеспечить возможность свободной установки защитных устройств с обратной стороны сварного соединения в конструкциях из титановых сплавов.

## § 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СВАРИВАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Марка материала	Характеристика свариваемости
	I. Технологическая свариваемость при сварке плавлением
ЮЮП	Свариваются всеми методами сварки плавлением.
Сталь 20	При дуговой сварке в среде инертных газов в шве образуются поры.
Сталь 25	
25ХГСА	Свариваются дуговой сваркой, дуговой под слоем флюса, в среде защитных газов (ДЭСУП, ДЭСУА) и электрошлаковой сваркой.
30ХГСА	
	При ацетилено-кислородной сварке - пониженная прочность сварного соединения и несколько большая склонность к образованию трещин. Тонкие листы толщиной до 3 мм можно сваривать автоматической аргоно-дуговой сваркой без присадки.
	В сочетаниях материалы указанных марок свариваются аналогично: при сварке со сталями ЮЮП, 20, 25 имеют меньшую склонность к образованию трещин.
30ХГСА	Свариваются дуговой, дуговой под флюсом и атомно-водородной сваркой. Для предупреждения образования трещин рекомендуется изделие подогревать до 200-300 <sup>0</sup> , а после сварки немедленно
ЭИ 643	

Марка материала	Характеристика свариваемости
переносить его в печь с температурой 600-650°C.	
Сварка тонких листов (до 4 мм) не рекомендуется из-за возможности появления холодных трещин. Закаленные элементы свариваются аустенитными электродами, прочность шва при этом меньше прочности основного металла, поэтому в конструкциях изделий следует предусматривать усиление швов.	
23Х2НВФА	Сваривается дуговой, дуговой под флюсом и аргоно-дуговой сваркой. Швы склонны к образованию трещин, поэтому после сварки детали подвергать отпуску при температуре 500°C. В некоторых случаях требуется немедленный перенос сварных деталей в печь с температурой 500°C.
	При аргоно-дуговой сварке наблюдается склонность к образованию пор, поэтому необходимо на свариваемые кромки наносить тонкий слой флюса или сваривать их на подкладке.
Г2Х2НВФА (ЭИ712)	Сваривается дуговой, дуговой под флюсом, в среде защитных газов и электрошлаковой сваркой. При ацетилено-кислородной сварке прочность сварных соединений ниже, чем при дуговой.
Х15Н9Ю (СН2, ЭИ904) Х17Н5М3 (СН3, ЭИ925) Х15Н7АМ2 (СН4)	Свариваются дуговой, аргоно-дуговой и электрошлаковой сваркой. Металл в расплавленном состоянии имеет большую склонность к окислению, поэтому обратную сторону шва необходимо защищать подкладками, ограничивающими циркуляцию воздуха под швом, поддувом инертного газа или флюсом, нанесенным на свариваемые кромки тонким слоем.
АМЦ	Сваривается в среде инертных газов газовой и атомно-водородной сваркой. Склонность сплава к трещинообразованию при сварке напряженных

Марка  
материала

Характеристика свариваемости

конструкций незначительная и не зависит от исходного состояния листов (АМц-М, АМц-П).

Сварные соединения обладают высокой коррозионной стойкостью.

Сплав в любом исходном состоянии (АМг-М, АМг-П, АМг-Ц) чрезвычайно склонен к образованию кристаллизационных трещин и отличается низкой герметичностью сварных швов.

Применение сварочной проволоки АМг-3 заметно повышает сопротивляемость трещинообразованию.

АМг5В  
АМг5

Свариваются в среде инертных газов и газовой сваркой с присадочной проволокой марки АМг5В. При сварке жестких конструкций возможно образование кристаллизационных трещин. Герметичность сварных швов невысокая. Она может быть повышена при употреблении присадочной проволоки марки АК. При этом ухудшается коррозионная стойкость сварного соединения. Для сварных соединений, выполненных многослойными швами, прочность и особенно, пластичность снижаются с увеличением толщин материала.

АМг6

Сваривается дуговой сваркой в среде инертных газов с получением сварных швов удовлетворительной герметичности.

При газовой сварке из-за оплавления легкоплавких составляющих сплава нарушается герметичность материала в околошовной зоне.

Коррозионная стойкость сварных соединений, выполненных дуговой сваркой в среде защитных газов, удовлетворительная.

Подобно сплаву АМг5В, с увеличением толщины материала (особенно свыше 20 мм) механические свойства сварных соединений из сплава АМг6 снижаются.

Марка материала	Характеристика свариваемости
Д20	<p data-bbox="342 205 995 397">Сваривается дуговой сваркой в среде инертных газов в любом состоянии поставки (Д20М, Д20Т, Д20ТЛ). Склонен к образованию мелких кристаллизационных трещин, трудно обнаруживаемых визуально, что затрудняет контроль и оценку качества сварных соединений.</p> <p data-bbox="342 405 961 462">Коррозионная стойкость сварных соединений низкая.</p> <p data-bbox="342 470 995 730">Защита сварных узлов достигается их анодированием с последующим лакокрасочным покрытием. При изготовлении листовых конструкции (толщина 2 мм) из термообработанного материала прочность сварных соединений без последующей термообработки - не менее 60% и после перезакалки и искусственного старения - не менее 90% прочности основного термообработанного материала.</p> <p data-bbox="342 737 995 830">Искусственное старение после сварки изделий, выполненных из закаленного материала, поднимает прочность только на 5-10%.</p> <p data-bbox="342 837 995 964">Пластичность сварных соединений пониженная. Прочность и, особенно, пластичность сварных соединений из сплава Д20 с увеличением толщины листов резко падает.</p>
МАН	<p data-bbox="342 984 995 1041">Сваривается дуговой сваркой в среде инертных газов и газовой сваркой.</p> <p data-bbox="342 1049 995 1241">Склонность к трещинообразованию - средняя. Требуется тщательной подготовки соединения под сварку: при плохой сборке или если конструкция сварного соединения не отвечает требованиям сварки возможно образование трещин в шве или несплавление кромок.</p> <p data-bbox="342 1248 995 1341">Прочность сварных соединений составляет 60-70% от прочности основного металла вследствие роста зерна металла в околошовной зоне.</p>
ВТ1	<p data-bbox="342 1353 995 1410">Сваривается дуговой сваркой в среде инертных газов, под слоем флюса, аргоно-дуговой точеч-</p>



Марка материала	Характеристика свариваемости
OT4-I	чной и электрошлаковой сваркой. Механические свойства сварных соединений высокие и мало отличаются от основного материала. Термическая обработка после сварки обычно не требуется.
OT4	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов, под слоем флюса и электрошлаковой
48-OT3	сваркой. Механические свойства сварных соединений высокие и мало отличаются от основного ма-
BT5-I	териала. Для снятия напряжений после сварки в
BT4	сложных конструкциях необходимо производить от-
BT6	жиг при температуре 650°C, а для восстановления пластичности сплава BT6-термическую обработку при температуре 700-800°C.
BT14	Опытные сплавы свариваются дуговой сваркой
BT15	в среде инертных газов. Для восстановления пластичности требуется термическая обработка, которая может быть совмещена со старением.
	Механические свойства высокие.
	Механические свойства сварных соединений из термически обработанного материала без последующей обработки после сварки понижаются.
T3	Опытные сплавы свариваются дуговой сваркой
T4	в среде инертных газов.
T6	Характеристика свариваемости изучается.
T8	

Примечание. При сварке титана и его сплавов необходима обязательная защита обратной стороны шва. Сварка конструкций, для которых защита обратной стороны шва невозможна, проводится в камерах с контролируемой атмосферой.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СВАРИВАЕМОСТЬ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

Сталь 08  
Сталь 10

Свариваются всеми методами контактной сварки в любом состоянии поставки. Металл шва и околошовоной зоны сохраняет высокую пластичность;

Марка материала	Характеристика свариваемости
Сталь 20 Сталь 25	соединения надежно работают на любые виды нагрузений.  Свариваются всеми методами контактной сварки в любом состоянии поставки. При точечной сварке склонны к подкалке. для устранения подкалки сварка может производиться по двухимпульсному циклу (с электротермообработкой). Соединения надежно работают на любые виды нагрузений.
25ХГСА 30ХГСА	Свариваются всеми методами контактной сварки в любом состоянии поставки, а также в закаленном состоянии. Точечная сварка должна производиться с электротермообработкой (сварка по двухимпульсному циклу) или с предварительным подогревом (сварка по трехимпульсному циклу); предварительный подогрев применяется при точечной сварке закаленных сталей.
Г2Х2НВФА (ЭИ712)	для устранения разупрочнения и охрупчивания роликовые и стыковые швы следует подвергать термообработке в печи.  Сваривается всеми методами контактной сварки как в отожженном состоянии, так и после нормализации или закалки. Целесообразно применять термообработку роликовых и стыковых швов.
23Х2НВФА (ЭИ659)	Сваривается всеми методами контактной сварки в любом состоянии поставки, а также после термообработки. Точечную сварку следует производить с электротермообработкой (сварка по двухимпульсному циклу). После сварки сварные швы (главным образом роликовые и стыковые) необходимо подвергнуть термообработке.
Х15Н9М (СН2) Х17Н5М3 (СН3)	Свариваются всеми методами контактной сварки в мягком и упрочненном состоянии. Металл шва и околошовной зоны сохраняет хорошую пластичность. Сварные соединения имеют высокие механические показатели при статических нагрузках.

Марка материала	Характеристика свариваемости
АМц	Сварные соединения имеют высокую механическую прочность.
АМг	Свариваются точечной и роликовой сваркой в любом состоянии поставки. При точечной и роликовой сварке сплавов АМг5В и АМг6 в околошовной зоне образуются структурные неоднородности в виде скопления легкоплавкой эвтектики ("усы").
АМгЗ	
АМг5В	
АМг6	
ДИ6	Свариваются точечной и роликовой сваркой в любом состоянии поставки. В упрочненном состоянии сплавы имеют склонность к образованию внутренних трещин, устраняемых применением ступенчатого графика усилия на электродах. При сварке больших (свыше 3 мм) толщин технология сварки затрудняется наличием плакирующего слоя чистого алюминия. При роликовой сварке наблюдается значительное разупрочнение сплавов в околошовной зоне (особенно у сплава В95АТ), что приводит к снижению прочности соединений.
ДИ9	
Д20	
В95	
ИА8	Сваривается точечной и роликовой сваркой. Материал склонен к образованию пор и раковин, устраняемых применением ступенчатого графика усилия на электродах.
АМгЗМ	Свариваются контактной стыковой сваркой детали с компактным сечением и трубы до 4000 мм <sup>2</sup> .
АМг5В	
АМг6	
ДИ6	
В95	Свариваются точечной и роликовой сваркой. Сварка разноименных сплавов вызывает значительные технологические трудности. Происходит смещение литой зоны шва в сторону сплава, обладающего более высоким омическим сопротивлением и низкой теплоемкостью.
АМцА-М+АМг6	
АМцА-М+ДИ6А-Т	
АМг6+АМгЗП	
АМг6+ДИ6А-Т ДИ6А-Т+д20А-Т ДИ6А-Т+В95А-Т	
ВТИ	Свариваются всеми методами контактной сварки. При роликовой сварке статическая прочность
ОТ4	

Марка материала	Характеристика свариваемости
ОТ4-І	сварных соединений высокая, а циклическая прочность пониженная.
48-ОГЗ	
ВТ5-І	
ВТ4, ВТ6	Опытные сплавы; свариваются точечной и роликовой сваркой. Характеристика свариваемости изучается
ВТІ4	
ВТІ5	
Т3, Т4, Т6	

#### ДОПОЛНЕНИЕ

ЭИ654

Из стали изготавливаются сварные изделия, работающие в воздушной и агрессивных средах.

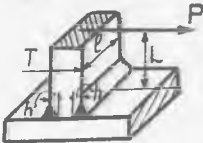

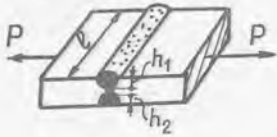
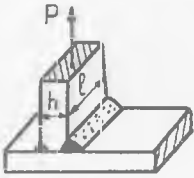
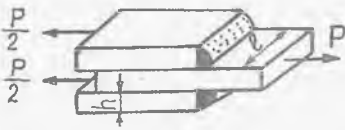
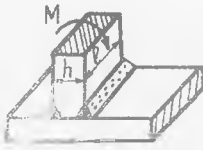
Сталь хорошо сваривается автоматической сваркой под слоем флюса АН-348А; сваркой плавящимся электродом с применением чистого аргона, аргона с добавкой до 1% углекислого газа и гелия; ручной дуговой сваркой металлическим электродом (ЭИ654) с покрытием флюсами марок НЖ-І, НИАТ-І, ЦЛЗ-М, ручной аргоно- или гелиеводуговой сваркой с присадочным материалом ЭИ654, контактной точечной и роликовой сваркой.

Сварные изделия термической обработке не подвергаются.

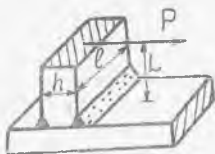
### § 3. Формулы для расчета сварных соединений

Обозначения

- $\sigma$  - нормальное напряжение [кг/см<sup>2</sup>] ;  
 $\tau$  - касательное напряжение среза [кг/см<sup>2</sup>] ;  
 $M$  - изгибающий момент [Кгсм] ;  
 $P$  - внешняя нагрузка [Кг]     $L$  - плечо силы [см] ;  
 $h$  - катет [см]

№	Схема	- 45 - Расчетная формула
1		$\sigma = \frac{3TPL}{lh(3T^2 - 6Th + 4h^2)}$ $\tau = \frac{P}{2hl}$
2		$\sigma = \frac{P}{h \cdot l}$
3		$\sigma = \frac{P}{(h_1 + h_2) \cdot l}$
4		$\sigma = \frac{R}{h \cdot l}$
5		$\sigma = \frac{0,707P}{hl}$
6		$\sigma = \frac{6M}{lh^2}$

7



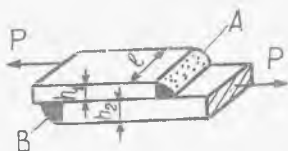
$$\sigma = \frac{6PL}{l \cdot h^2} ; \tau = \frac{P}{l \cdot h}$$

8



$$\sigma = \frac{6M}{lh^2}$$

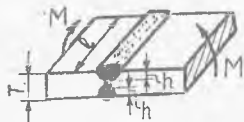
9



Напряжения в шве А равно напряжению в шве В .

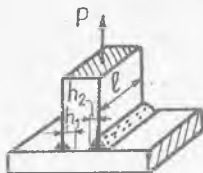
$$\sigma = \frac{1,414 P}{(h_1 + h_2) \cdot l}$$

10



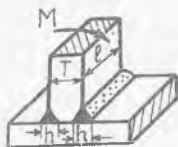
$$\sigma = \frac{3TM}{lh(3T^2 - 6Th + 4h^2)}$$

11



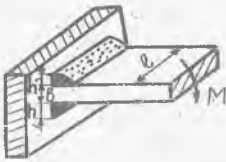
$$\sigma = \frac{P}{(h_1 + h_2) l}$$

12



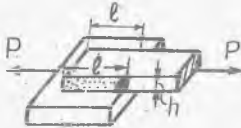
$$\sigma = \frac{3TM}{lh(3T^2 - 6Th + 4h^2)}$$

13



$$\sigma = \frac{1,414M}{hl(b+h)}$$

14



$$\sigma = \frac{0,707P}{h \cdot l}$$

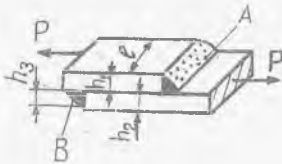
15



Обе полосы одинаковой толщины

$$\sigma = \frac{0,707P}{h \cdot l}$$

16



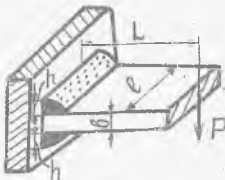
Шов А

$$\sigma = \frac{1,414P}{(h_1 + h_2) \cdot l}$$

Шов В

$$\sigma = \frac{1,414Ph_2}{h_3l(h_1 + h_2)}$$

17



Среднее  $\tau = \frac{0,707P}{hl}$

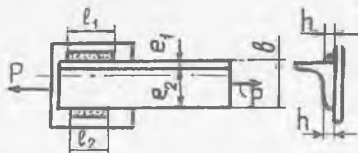
$$\text{Max} \sigma = \frac{P}{hl(b+h)} \sqrt{2L^2 + \frac{(b+h)^2}{2}}$$

18



$$\tau = \frac{0,354P}{h \cdot l}$$

19

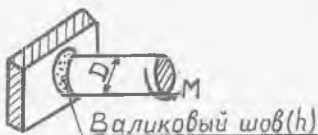


$$\sigma = \frac{1,414P}{h(l_1 + l_2)}$$

или

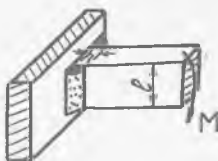
$$l_1 = \frac{1,414Pe_2}{\sigma h b_2}; \quad l_2 = \frac{1,414Pe_1}{\sigma h b}$$

20



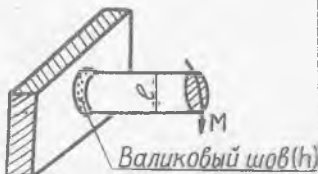
$$\tau = \frac{2,83M}{hD^2\pi}$$

21



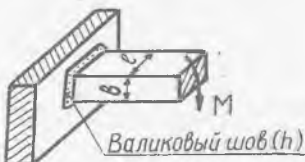
$$\sigma = \frac{4,24M}{hl^2}$$

22



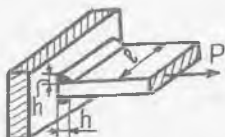
$$\sigma = \frac{5,66M}{hD^2\pi}$$

23



$$\sigma = \frac{424M}{h[b^2 + 3l(b+h)]}$$

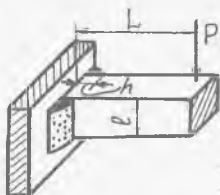
24



$$\sigma = \frac{0,707P}{hl}$$



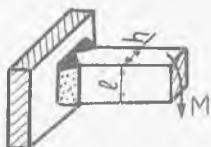
25



$$\text{Среднее } \tau = \frac{0.707P}{h \cdot l}$$

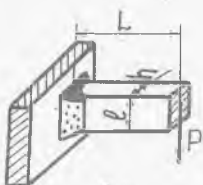
$$\text{Max } \sigma = \frac{4.24PL}{hl^2}$$

26



$$\sigma = \frac{6M}{hl^2}$$

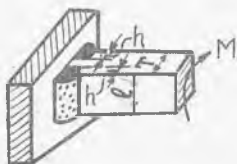
27



$$\sigma = \frac{6PL}{hl^2}$$

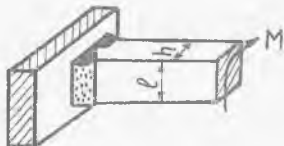
$$\tau = \frac{P}{hl}$$

28



$$\tau = \frac{M}{2(T-h)(l-h)h}$$

29



$$\tau = \frac{M(3l+1.8h)}{h^2 l^2}$$

30



$$\sigma = \frac{3M}{hl^2}$$

31		$\sigma = \frac{3PL}{h \cdot l^2}$ $\tau = \frac{P}{2hl}$
32		<p><i>Валиковый шов</i></p> $\sigma = \frac{1,414P}{2hl + h_1l_1}$ <p><i>шов встык</i></p> $\sigma = \frac{P}{2hl + h_1l_1}$
33		$N = \frac{P_{раз}}{\pi(D - \delta)} \leq S$ $S = \delta(\sigma_B - 20) + 5 \text{ кг/мм}$
34		$N = \frac{P_{раз}}{\pi(D - \delta)} \leq S$ $S = \delta(\sigma_B - 6) - 4 \text{ кг/мм}$
35		$N = \frac{P_{раз}}{\pi(D - \delta)} \leq S$ $S = \delta(1,1\sigma_B + 1,8) - (0,25\sigma_B + 4) \text{ кг/мм}$

§ 4. Оформление чертежа сварного узла

В чертеже сварного узла должны быть указаны:

1. Основное условное обозначение шва сварного соединения (см ГОСТ 5263-58, стр. 94-101, [7]).

Примечание: При изображении на чертеже сварных швов с указанием размеров всех конструктивных элементов условные обозначения швов допускается не проставлять.

2. Технические требования, в которых должно быть указано:

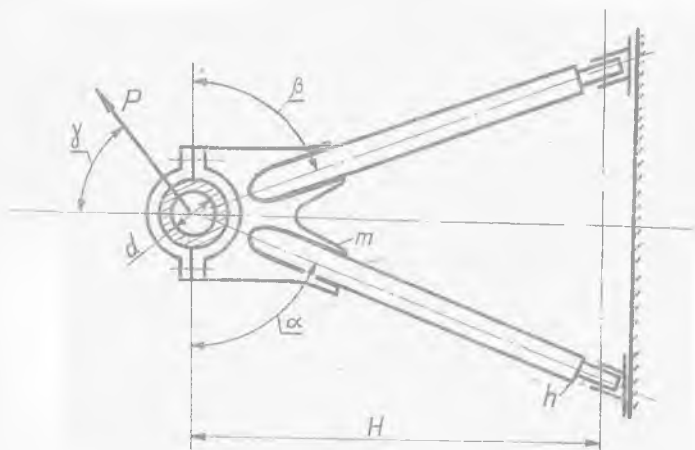
- а) марка, тип присадочного материала ГОСТ 10051-62, ГОСТ 2246-60, ГОСТ 10052-62, приложение стр. 116, 121-124, ГОСТ 7871-63, [7];
- б) контроль качества швов сварных соединений (ГОСТ 3242-54, стр. 152, [7]);
- в) термообработка;
- г) антикоррозийное покрытие.

В качестве дополнительных покрытий сварных швов конструкций из сталей можно применять грунт 138 по ТУМХП или грунт 119 по ТУМХП; для узлов из легких сплавов можно применять грунт марки АЛГ-1 или АЛГ-12. Дополнительные покрытия рекомендуется применять в случае окраски всей конструкции.

- д) Испытания (см. ГОСТ 3242-54, стр. 152, [7]).

П Р И М Е Р  
ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ ПО  
ПРОЕКТИРОВАНИЮ СВАРНОГО УЗЛА

ЗАДАНИЕ. Спроектировать сварной узел, схема которого показана на фиг. 7.



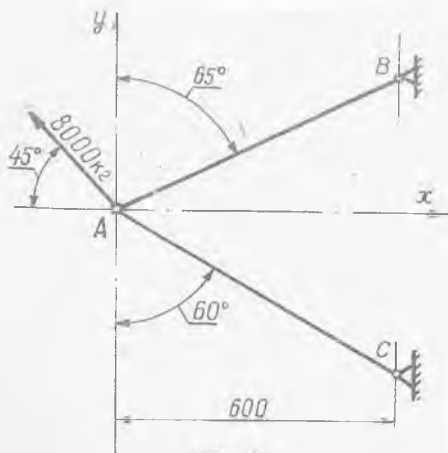
Фиг. 7.

$P, [кг]$	$H, [мм]$	$\alpha, [^\circ]$	$\beta, [^\circ]$	$\gamma, [^\circ]$	$d, [мм]$
8000	600	60	65	45	42

1. Выбор расчетной схемы

В связи с тем, что оси стержней сходятся в одной точке расчетную схему представляем в виде стержневой системы с шарнирами в узлах.

2. Определение длин стержней



Фиг. 8

$$l_{AB} = \frac{600}{\sin 65^\circ} = \frac{600}{0,908} = 661 \text{ мм}$$

$$l_{AC} = \frac{600}{\sin 60^\circ} = \frac{600}{0,867} = 700 \text{ мм}$$

3. Определение усилий в стержнях

$$\sum X = -8000 \cdot \cos 45^\circ + P_{AB} \cdot \sin 65^\circ + P_{AC} \cdot \sin 60^\circ = 0;$$

$$\sum Y = 8000 \cdot \sin 45^\circ + P_{AB} \cdot \cos 65^\circ - P_{AC} \cdot \cos 60^\circ = 0;$$

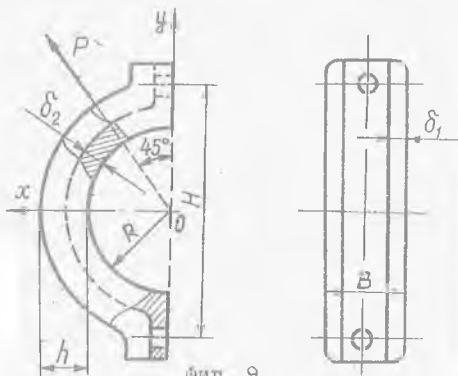
$$\begin{array}{l|l} 0,906 \cdot P_{AB} + P_{AC} \cdot 0,866 = 5660 & 1 \\ 0,422 \cdot P_{AB} - P_{AC} \cdot 0,5 = -5660 & 1,78 \end{array} \left| \begin{array}{l} 0,906 \cdot P_{AB} + P_{AC} \cdot 0,866 = 5660; \\ 0,730 \cdot P_{AB} - P_{AC} \cdot 0,866 = -9780; \\ \hline 1,638 \cdot P_{AB} = -4120; \end{array} \right.$$

$$P_{AB} = \frac{-4120}{1,638} = -2510 \text{ кг};$$

$$0,906 \cdot (-2510) + P_{AC} \cdot 0,866 = 5660 \text{ кг};$$

$$P_{AC} = \frac{5660 + 9270}{0,866} = \frac{7390}{0,866} = 9170 \text{ кг}.$$

4. Определение диаметров шпилек крепления крышки.



Фиг. 9.

В данном случае шпильки одновременно подвержены растяжению и срезу. Расчет шпилек производится на срез, причем разрушающее напряжение среза определяется по формуле  $\tau_B \leq K \sigma_B$ ,

$$\text{где } K = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\tau}\right)^2 + 2,6}}$$

Считаем, что площадь шпилек, работающая на сдвиг, равна площади, работающей на растяжение, и равна площади шпилек по нарезке.

Проекции силы  $P = 8000 \text{ кг}$  на оси  $X$  и  $Y$ :  $P_x = P_y = 5660 \text{ кг}$ .

Выбираем материал шпилек: ст. 45,

$$\sigma_B = 60 \text{ кг/мм}^2.$$

Таким образом

$$K = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\tau}\right)^2 + 2,6}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{P_x}{P_y}\right)^2 + 2,6}} = \frac{1}{\sqrt{1+2,6}} = 0,527$$

$$\text{и } \tau_B = K \sigma_B = 0,527 \cdot 60 = 31,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Из соотношения:

$$\tau = \frac{P}{nF} \leq \tau_B,$$

где  $n = 2$  - число шпилек, имеем

$$F = \frac{P}{n\tau_B} = \frac{5660}{2 \cdot 31,6} = 89,6 \text{ мм}^2.$$

Принимаем площадь сечения шпильки по нарезной части

$$F = 111,5 \text{ мм}^2, \text{ что соответствует шпильке с наружным диаметром}$$

14 мм.

Тогда

$$\tau = \frac{P}{nF} = \frac{5660}{2 \cdot 111,5} = 25,3 \text{ кг/мм}^2.$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{31,6}{25,3} = 1,25 \quad \text{Прочно.}$$

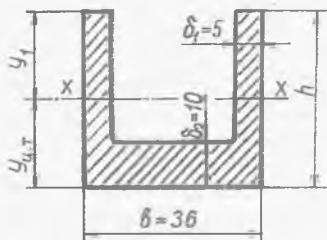
Помимо расчета шпилек на срез проводим проверку прочности их в сечении нарезной части на разрыв, при этом должно быть

$$\sigma \leq 0,65\sigma_B; \quad \sigma = \frac{P_x}{nF} = \frac{5660}{2 \times 111,5} = 25,3 \text{ кг/мм}^2.$$

Коэффициент избытка прочности:

$$\eta = \frac{0,65\sigma_B}{\sigma} = \frac{0,65 \times 60}{25,3} = \frac{39}{25,3} = 1,54. \quad \text{Прочно.}$$

5. Определение сечения крышки



Фиг. 10.

Принимаем ширину крышки равной

$$B = 36 \text{ мм.}$$

Из соображений уменьшения веса крышки принимаем сечение крышки в виде швеллера; расстояние между болтами  $H = 90 \text{ мм}$ ,  $\delta_1 = 5 \text{ мм}$  и  $\delta_2 = 10 \text{ мм}$ . Размеры сечения крышки определим из условия

$$\sigma = \frac{M_{изг.}}{W} \leq \sigma_{в.}$$

Выбираем материал крышки сталь 30ХГСА,

$$\sigma_{в.} = 110 \text{ кг/мм}^2 \text{ (закалка)}$$

$$M_{изг.} = \frac{P \cdot H}{2} = \frac{5660 \cdot 9}{2} = 25500 \text{ кг/см.}$$

Потребный момент сопротивления изгибу:

$$W \geq \frac{M_{изг.}}{\sigma_{в.}} = \frac{25500}{11000} = 2,32 \text{ см}^3.$$

Принимаем  $h = 34 \text{ мм}$ .

Тогда площадь сечения

$$F = 2 \cdot 3,4 \cdot 0,5 + 2,6 \cdot 1 = 6 \text{ см}^2.$$

Определяем положение центра тяжести сечения:

$$y_{ц.т.} = \frac{2 \cdot 3,4 \cdot 0,5 \cdot 1,7 + 2,6 \cdot 1 \cdot 0,5}{6} = 1,18 \text{ см.}$$

Определяем расстояние от центра тяжести до наиболее удаленного волокна:

$$y = h - y_{ц.т.} = 3,4 - 1,18 = 2,22 \text{ см}$$



Определяем момент инерции сечения:

$$J_x = 2 \frac{0,5 \cdot 3,4^3}{12} + 2(1,7 - 1,18)^2 \cdot 3,4 \cdot 0,5 + \frac{2,6 \cdot 1^3}{12} + (1,18 - 0,5)^2 \cdot 2,6 \cdot 1 = 5,564 \text{ см}^4.$$

Определяем момент сопротивления изгибу:

$$W_x^{\min} = \frac{J_x}{y_1} = \frac{5,564}{2,22} = 2,5 \text{ см}^3.$$

Таким образом

$$\sigma = \frac{M_{\text{изг.}}}{W_x} = \frac{25500}{2,5} = 10200 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{11000}{10200} = 1,08. \quad \text{Прочно.}$$

#### 6. Определение сечений стержней

Считаем, что стержни имеют трубчатое сечение.

Материал стержней выбираем из условий сварки ЗОХГСА

$$\sigma_B = 100 \text{ кг/мм}^2 \text{ (нормализация).}$$

Сечение стержня АВ определяем из соотношения:

$$\sigma = \frac{P_{AB}}{F_{AB}} \leq \sigma_{кр} \quad (1).$$

$\sigma_{кр}$  находится из графика ( фиг. Ш. 66. стр. 296, [3] )

По таблице 1,9 [3] определяем сечение стержней:

труба 22×17,  $F = 1,5315 \text{ см}^2$ ,  $i = 0,694 \text{ см}$ .

$$\frac{l}{i} = \frac{66,1}{0,694} = 95,4, \quad \sigma_{кр} = 1800 \text{ кг/см}^2.$$

По соотношению ( I )

$$\sigma = \frac{P_{AB}}{F_{AB}} = \frac{2510}{1,53} = 1640 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{1800}{1640} = 1,095. \quad \text{Прочно.}$$

Сечение стержня AC принимаем таким же, как и у стержня AB

$$\sigma = \frac{P_{AC}}{F_{AC}} = \frac{9170}{1,51} = 5990 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{10000}{5990} = 1,67. \quad \text{Избыточно прочно.}$$

Коэффициент избытка прочности получился большим в виду того, что стержни AC и AB приняты одинакового сечения.

### 7. Определение длины сварного шва

Необходимая длина сварного шва и высота его катета определяются из соотношения:

$$\tau = \frac{0,354 \cdot P}{h \cdot L} \leq \tau_p, \quad (2)$$

$$\tau_p = 0,6\tau_8; \quad \tau_8 = 0,63\sigma_8.$$

Для нормализованных хромансильевых труб  $\sigma_8 = 100 \text{ кг/мм}^2$ .

Тогда  $\tau = 0,6 \cdot 0,63 \cdot 100 = 37,8 \text{ кг/мм}^2 = 3780 \text{ кг/см}^2$ .

Зададимся катетом шва  $h = 3 \text{ мм}$ , исходя из толщины трубы равной 2,5 мм.

Из соотношения (2) находим длину сварного шва:

$$L = \frac{0,354 \cdot P_{\max}}{\tau \cdot h} = \frac{0,354 \cdot 9170}{3780 \cdot 0,3} = 2,86 \text{ см.}$$

Определяем длину шва, исходя из прочности самой трубы

$$\tau = \frac{P_{\max}}{4 \cdot L \cdot \delta} \leq \tau_{\text{расч.}} \quad (3)$$

Для трубы

$$\tau_{\text{расч.}} = 0,85\tau_8$$

$$\tau_{\text{расч.}} = 0,85 \cdot 0,63 \cdot \sigma_8 = 0,85 \cdot 0,63 \cdot 100 = 53,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Из соотношения ( 3 ) находим

$$l = \frac{P_{\max}}{4\sigma\tau_p} = \frac{9170}{4 \cdot 0,25 \cdot 5360} = 1,710 \text{ см.}$$

Принимаем длину сварного шва равной 3 см

$$\tau = \frac{0,354 \cdot 9170}{3 \cdot 0,3} = 3610 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{3780}{3610} = 1,045. \text{ Прочно.}$$

### 8. Определение сечения косынок

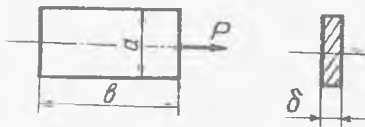
Принимаем материал косынок сталь 30ХГСА,  $\sigma_B = 110 \text{ кг/мм}^2$  ( закалка ). Сечение косынок определяем из соотношения:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{F} \leq \sigma_B ; \quad ( 4 )$$

$$\delta = l_{\text{св. шва}},$$

$$F = a \cdot \delta.$$

Принимаем  $a = 28 \text{ мм.}$



Фиг. II.

Из соотношения ( 4 )

$$\delta = \frac{P_{\max}}{a \cdot \sigma_B} = \frac{9170}{28 \cdot 110} = 2,98 \text{ мм.}$$

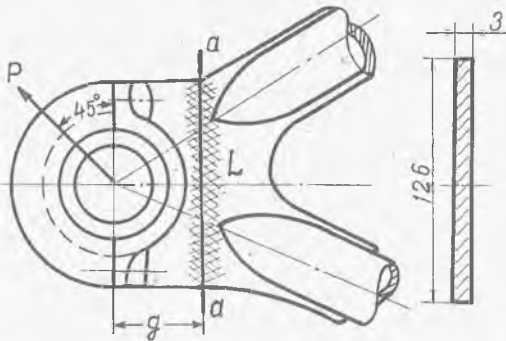
Принимаем  $\delta = 3 \text{ мм.}$

Тогда

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{F} = \frac{9170}{28 \cdot 3} = 109,1 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности:

$$\eta = \frac{110}{109,1} = 1,006. \quad \text{Прочно.}$$



Фиг. 12.

Напряженное состояние в зоне  $L$  носит сложный характер. Проведем приближенную проверку прочности сечения "аа"

$$\sigma = \frac{M_{изг.}}{W} + \frac{N}{F} \leq \sigma_B ;$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot 5660 \cdot 61}{3 \cdot 1,26^2} + \frac{5660}{3 \cdot 126} = 43,4 + 14,95 = 58,35 \text{ кг/мм}^2.$$

Коэффициент избытка прочности:

$$\eta = \frac{110}{58,85} = 1,87. \text{ избыточно прочно.}$$

Оставляем коэффициент избытка прочности такой величины, ввиду того, что расчеты проводим приближенно.

9. Определение диаметров болтов крепления узла в точках В и С

Считаем, что болты в узлах В и С одинаковы и работают на срез от усилия  $P = 9170$  кг.

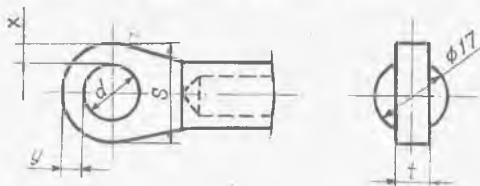
Диаметр болтов подбираем по таблице П.39, стр. 149, [3]. диаметр болта - 12 мм (нормаль болта 3001А 12 - 40).

Материал ст. 45;  $\sigma_B = 60$  кг/мм<sup>2</sup> (нормализованн).

Разрушающее усилие на две плоскости среза  $2 \times 4855 = 9710$  кг.

$$\eta = \frac{2 \cdot 4855}{9170} = 1,06. \text{ прочно.}$$

10. Определение сечения проушин узлов В и С



Фиг. 13.

Расчет проушин производим по графику П, 29, стр. 150, [3].

Принимаем  $\frac{S}{d} = 2$ , материал проушины сталь 30ХГСА,

$$\sigma_b = 110 \text{ кг/мм}^2 \text{ (после термообработки).}$$

Считаем соединение малоподвижным  $\sigma_{см} = \sigma_b$ .

Толщину проушины  $t$  определяем из соотношения

$$\sigma_{см} = \frac{P}{dt} \leq \sigma_b,$$

откуда  $t = \frac{9170}{110 \cdot 12} = 6,95 \text{ мм};$  принимаем  $t = 7 \text{ мм}.$

$$\eta = \frac{110 \cdot 12 \cdot 7}{9170} = 1,009. \text{ Прочно.}$$

Из соотношения  $\sigma = \frac{P}{F} \leq K\sigma_b$  ("K" определяется по графику П. 29, 3)

имеем  $F = \frac{P}{K\sigma_b};$  ; но  $F = t \cdot 2x,$

значит  $t \cdot x = \frac{P}{2K \cdot \sigma_b};$

откуда  $x = \frac{P}{2K \cdot t \cdot \sigma_b} = \frac{9170}{20,84 \cdot 7 \cdot 110} = 7,09 \text{ мм}.$

Принимаем  $x = 7,5 \text{ мм}.$

Тогда  $\sigma = \frac{P}{t \cdot 2x} = \frac{9170}{7 \cdot 2 \cdot 7,5} = 87,6 \text{ кг/мм}^2.$

$$\eta = \frac{K\sigma_b}{\sigma} = \frac{0,84 \cdot 110}{87,6} = 1,05. \text{ Прочно.}$$

Определяем площадь хвостовика проушины трубчатого сечения из соотношения:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_b; \quad F \geq \frac{9170}{1100} = 0,833 \text{ см}^2.$$

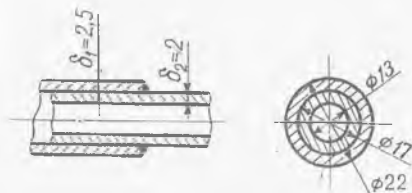
Берем трубчатое сечение 17 x 13,  $F = 0,938 \text{ см}^2$ .

$$\delta = 2 \text{ мм}, \quad \sigma = \frac{9170}{0,938} = 9780 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент избытка прочности:

$$\eta = \frac{1100}{9780} = 1,125. \quad \text{Прочно.}$$

II. Проверка прочности телескопического сварного соединения проушины с трубой



Фиг. 14.

Расчет телескопического сварного соединения проводим по разрушающим погонным нагрузкам:

$$N = \frac{P}{\pi (D - \delta)} \approx S.$$

Разрушающее погонное усилие определяется по формуле:

$$S = \delta_2 (\sigma_2 - 6) - 4 = 2 (110 - 6) - 4 = 204 \text{ кг/мм}^2;$$

$$N = \frac{9170}{3,14(22-2,5)} = \frac{9170}{3,14 \cdot 19,5} = 149,5 \text{ кг/мм},$$

Коэффициент избытка прочности

$$\eta = \frac{204}{149,5} = 1,365. \quad \text{Прочно.}$$

12. Свободная таблица коэффициентов избытка прочности

№№ п-п	Наименование	$\eta$
I	Шпилька крепления крышки	1,25
2	Крышка	1,08
3	Труба АВ	1,095
4	Труба АС	1,67
5	Сварной шов	1,045
6	Косынки	1,006
7	Сечение "аа"	1,87
8	Болт в точке "С"	1,06
9	Проушина	1,05
10	Хвостовик проушины	1,125
11	Сварной шов телескопического соединения	1,365

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций, Оборонгиз, 1959.
2. В.Д.Мягков. Краткий справочник конструктора, Машгиз, 1962.
3. М.Ф.Астахов и др. Справочная книга по расчету самолета на прочность, Оборонгиз, 1954.
4. Нормали крепежных элементов, сборники кафедры.
5. Нормали и ГОСТы на подшпильки качения, ГОСТ, 1958.
6. Тяги управления, нормаль АН-1084.
7. Сварка металлов, сборник ГОСТов, Москва, 1967.
8. А.М.Зайцев, Р.В.Коросташевский. Авиационные подшпильки качения, Оборонгиз, 1963.
9. М.Н.Слюдинов. Проектирование деталей, узлов, приводов и механизмов летательных аппаратов, Машиностроение, 1967.

# О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ . . . . .		3
I . ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ . . . . .		4
§ 1. Расчет узла на прочность . . . . .		4
1. Расчетные нагрузки . . . . .		4
2. Выбор расчетной схемы . . . . .		5
3. Расчет нормализованных деталей . . . . .		6
4. Расчет проушин . . . . .		7
5. Определение прочных размеров детали . . . . .		8
§ 2. Рекомендации по повышению технологичности механической обработки детали . . . . .		9
§ 3. Оформление чертежа детали . . . . .		10
§ 4. Оформление чертежа узла . . . . .		11
§ 5. Составление пояснительной записки . . . . .		15
II. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЕТАЛИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКОЙ . . . . .		13
§ 1. Характеристика штампованных деталей . . . . .		16
§ 2. Материалы для штампуемых деталей . . . . .		17
§ 3. Выбор рациональной формы детали . . . . .		17
§ 4. Выбор конструктивных элементов штампуемых деталей . . . . .		19
1. Выбор линии разреза штампа . . . . .		19
2. Выбор толщины и угла наклона полотна . . . . .		19
3. Выбор расстояния между ребрами . . . . .		20
4. Выбор толщины вертикальных стенок и ребер . . . . .		21
5. Выбор радиусов сопряжения, закруглений и переходов . . . . .		21
6. Выбор штамповочных уклонов . . . . .		22
§ 5. Оформление чертежа штампованной детали . . . . .		23
III. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЕТАЛИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ ЛИТЬЕМ . . . . .		28
§ 1. Характеристика литых деталей . . . . .		28
§ 2. Требования к литым деталям . . . . .		28
§ 3. Материалы для литых деталей . . . . .		29
§ 4. Выбор способа литья . . . . .		30
§ 5. Правила конструирования литых деталей . . . . .		30



§ 6. Оформление чертежа литой детали . . . . .	33
IV. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СВАРНЫХ УЗЛОВ . . . . .	36
§ 1. Характеристика сварных соединений . . . . .	36
§ 2. Технологическая свариваемость материалов . . . . .	37
§ 3. Формулы для расчета сварных соединений . . . . .	44
§ 4. Оформление чертежа сварного узла . . . . .	51
ПРИЛОЖЕНИЕ: Пример выполнения задания по проектирова- нию сварного узла . . . . .	53
ЛИТЕРАТУРА. . . . .	65

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие

Редактор И.С.Кольшева

Корректор Е.П.Михайлова

ЕО 00252. Подписано в печать 13./УП.70 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.

Объем 4,25 п.л. Тираж 1000 экз. Цена 25 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева, г. Куйбышев,  
Молодогвардейская, 151.

Ротапечатьный цех типографии им. Мяги, г. Куйбышев, Венцека, 60