

*Ю.Д. ЛЫСЕНКО, В.А. ЗВЯГИНЦЕВ*

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
СБОРОЧНО-КЛЕПАЛЬНЫХ РАБОТ  
НА БАЗЕ МАШИН ИМПУЛЬСНОГО  
ДЕЙСТВИЯ**

**2007**



**САМАРА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»

Ю.Д. ЛЫСЕНКО, В.А. ЗВЯГИНЦЕВ

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
СБОРОЧНО-КЛЕПАЛЬНЫХ РАБОТ  
НА БАЗЕ МАШИН ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 629.735  
ББК 39.55  
Л 866



**Инновационная образовательная программа  
"Развитие центра компетенции и подготовка  
специалистов мирового уровня в области аэро-  
космических и геоинформационных технологий"**

Рецензенты: Ю. Т. К р а в ц о в, В. Н. М а й н с к о в

*Лысенко Ю. Д.*

Л 866 **Механизация и автоматизация сборочно-клепальных работ на базе машин импульсного действия: учеб. пособие / Ю.Д. Лысенко, В.А. Звягинцев.** – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 76 с. : ил.

**ISBN 978-5-7883-0575-2**

Рассмотрены методы получения высокоресурсных заклепочных соединений и применяемое оборудование. Приведен анализ влияния скорости деформирования на процесс образования соединения и дан обзор оборудования для одноударной клепки. На базе технологий одноударной клепки рассмотрены перспективы развития средств автоматизации сборочно-клепальных работ.

Пособие предназначено для студентов, изучающих курсы технологии производства летательных аппаратов и автоматизации производственных процессов.

УДК 621. 735  
ББК39.55

**ISBN 978-5-7883-0575-2**

©Лысенко Ю. Д., Звягинцев В. А. 2007  
© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	4
<b>1 Высокоресурсные заклепочные соединения и методы их получения</b> .....	6
1.1 Требования, предъявляемые к заклепочным соединениям.....	6
1.2 Основные факторы, влияющие на долговечность соединения.....	7
1.3 Причины повышения усталостной прочности соединения с натягом.....	9
1.4 Способы обеспечения высокого радиального натяга в заклепочных соединениях.....	14
1.5 Машины и оборудование, применяемые для клепки.....	21
<b>2 Одноударная (импульсная) клепка</b> .....	35
2.1 Особенности ручных машин для одноударной клепки.....	35
2.2 Машины и оборудование для ручной одноударной клепки.....	39
2.3 Особенности выполнения высокоресурсных заклепочных соединений посредством одноударной (импульсной) клепки.....	44
<b>3 Перспективные направления развития средств автоматизации сборочно-клепальных работ на базе импульсных клепальных машин</b> .....	55
3.1 Общая характеристика направлений.....	55
3.2 Доработочные автоматизированные рабочие места.....	56
3.3 Встраивание импульсных клепальных автоматов в сборочные приспособления.....	62
3.4 Гибкие клепально-сборочные системы.....	63
<b>Заключение</b> .....	72
<b>Библиографический список</b> .....	74

## ***ВВЕДЕНИЕ***

Объем заклепочных соединений в конструкциях современных и проектируемых в настоящее время перспективных летательных аппаратов (ЛА) остается достаточно высоким, несмотря на возрастающее применение сотовых конструкций, оребренных панелей, применение таких видов соединений, как сварка и склеивание. Заклепочные соединения оставляют за собой до 12% трудоемкости изготовления всего изделия.

Возрастающие требования к повышению прочности, ресурса, герметичности, снижению массы ЛА обуславливают необходимость совершенствования самих заклепочных соединений, с одной стороны, и технологии их выполнения — с другой.

Современные технологические процессы выполнения заклепочных соединений подразделяются:

- на техпроцессы выполнения соединений в автоматическом режиме на клепальных автоматах с ЧПУ;
- техпроцессы выполнения соединений в полуавтоматическом режиме на клепальных автоматах без ЧПУ;
- техпроцессы выполнения соединений в полуавтоматическом режиме на стационарных клепальных прессах;
- техпроцессы выполнения соединений на переносных клепальных прессах;
- техпроцессы выполнения соединений с использованием одностороннего крепежа;
- техпроцессы выполнения соединений средствами малой механизации.

Все они состоят из последовательного повторения комплекса аналогичных операций (образование отверстий; выполнение соединений; герметизация соединений при необходимости; контроль качества выполнения соединений) и разрабатываются в зависимости от конструкции соединения, типа крепежа, материалов соединяемых деталей.

Уровень технологии, а значит и качество (особенно в условиях серийного производства) выполнения соединений, определяют усталостную прочность и герметичность конструкций, в значительной степени стоимость, массу и топливную эффективность ЛА.

Для обеспечения высокого качества необходима стабильность выполнения операций при установившемся технологическом процессе с исключением влияния субъективных факторов на ход выполнения операций. Стабильные техпроцессы, как, например, техпроцессы выполнения соединений в автоматическом режиме, обеспечивают не только высокие характеристики средней долговечности, но и уменьшают поле разброса ее.

В настоящее время при производстве ЛА в Российской Федерации до 30 — 40% клепально-сборочных работ осуществляется с помощью пневматических многоударных клепальных молотков, что не обеспечивает высокого качества соединений, производительности труда и приводит к профессиональным заболеваниям. По условиям охраны труда клепка пневмомолотком допускается при диаметрах заклепок не выше 6 мм. При больших диаметрах крепления применяется более дорогой и тяжелый крепеж — спецзаклепки, болты.

В то же время исследования в области физики высоких энергий позволили создать процессы, которые успешно применяются в металлообработке как при непосредственном воздействии на обрабатываемый объект — обработка взрывом, электрогидроимпульсный эффект, магнитно-импульсная обработка, так и через промежуточные среды и тела.

Широкое развитие получили исследования и разработки, связанные с созданием различного рода машин, в том числе и для операций клепки.

Отечественный и зарубежный опыт позволяет считать, что наилучшими перспективами в направлении механизации и автоматизации клепально-сборочных работ (вплоть до создания роботизированных комплексов) обладают технологические процессы и оборудование на основе ударного и, в частности, магнитно-импульсного привода.

# ***1 ВЫСОКОРЕСУРСНЫЕ ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ***

## **1.1 Требования, предъявляемые к заклепочным соединениям**

Современный летательный аппарат является весьма сложной конструкцией, отвечающей требованиям аэродинамики, прочности, герметичности и многим другим при самых жестких ограничениях массы. Сборка деталей, узлов и агрегатов с помощью заклепок ставит, в свою очередь, требования обеспечения технологичности конструкции: максимально возможное использование стационарного и переносного клепального оборудования, прессов, автоматов и т. п., удобство подхода к зоне клепки, сокращение номенклатуры заклепок и др.

Высокое качество заклепочных соединений обеспечивает стационарное оборудование. Тем не менее, в силу различных причин до 40% заклепок расклепывается вручную пневматическими многоударными молотками, создающими вибрацию и значительный шум при работе, что приводит к профессиональным заболеваниям клепальщиков, а каждый случай виброболезни наносит государству значительный ущерб [1]. Усугубляющими факторами при этом являются охлаждение кистей рук протекающим по корпусу молотка воздухом и необходимость прикладывания значительного статического усилия (150—180 Н) для удержания молотка в рабочем положении. Качество клепки при этом в решающей степени зависит от квалификации рабочего и может быть невысоким.

Заклепочные соединения подвержены воздействию значительных усилий как статических, так и циклических. Поскольку летательные аппараты работают в условиях сильных вибраций, то к ним предъявляются высокие требования по герметичности и стойкости к влиянию климатических воздействий, возникновению фреттинг-коррозии и др.

Многолетняя практика эксплуатации отечественной и зарубежной техники показывает, что долговечность конструкции планера самолета ограничена усталостными разрушениями, 75 — 85% которых приходится на болтовые и заклепочные соединения. Избежать аварий и катастроф по этим причинам позволяют статическая неопределенность самолетных конструкций и применение материалов, обладающих свойством медленного распространения трещин.

## 1.2 Основные факторы, влияющие на долговечность соединений

Факторы, влияющие на величину и распределение концентрации напряжений, а значит и долговечность элементов конструкции, можно условно разделить на три группы:

— металлургические (химический состав, величина зерна, различного рода дефекты и др.);

— конструктивно-технологические (конструктивные факторы — форма, геометрические соотношения и сочетание материалов элементов соединений, тип крепежа; технологические факторы — режимы технологического процесса при выполнении операций, сочетание переходов и операций, оборудование, инструмент);

— эксплуатационные (характер и величина внешней нагрузки, температуры, среды и др.).

Первостепенное значение имеют конструктивно–технологические факторы, определяющие уровень параметров соединения. Эти параметры определяют величину, знак остаточных напряжений, глубину их залегания, чистоту поверхности и степень ее деформационного упрочнения, величину сил трения по контактными поверхностям. Задачей является получение соединений, у которых эти параметры были бы наилучшими с точки зрения ресурса и надежности соединений.

Эксплуатационные факторы, как правило, учитываются при оценке влияния металлургических, конструктивно-технологических факторов на качество, прочностные и усталостные характеристики, герметичность, коррозионную стойкость элементов конструкции, включая соединения.

### ***Конструктивные факторы***

Увеличение выносливости соединений за счет конструктивных изменений как правило приводит к возрастанию веса элементов. Естественно, это нежелательно и приемлемо лишь в тех случаях, когда сравнительно небольшие конструктивные изменения могут дать существенное увеличение выносливости, например, в химически травленных или фрезерованных панелях и т. п.

Оценка конструктивного совершенства с точки зрения эффективности соединения при статической прочности на срез выражается коэффициентом прочности шва [2]



$$\varphi = \frac{\sigma_{разр}^c}{\sigma_{\sigma}}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_{разр}^c$  – разрушающее напряжение в ослабленном сечении;

$\sigma_{\sigma}$  – предел прочности материала при растяжении.

Коэффициент прочности шва определяется диаметром крепежного элемента, расстояниями между соседними крепежными элементами в шве, между рядами и т. п. Одним из основных конструктивных факторов, существенно влияющих на выносливость, особенно односрезных соединений, является толщина листа, обуславливающая эксцентриситет сил, действующих в соединении.

Снижение усталостной прочности заклепочных соединений при действии переменных нагрузок происходит от концентрации напряжений в зоне отверстий и уменьшения площади сечения детали. Его можно характеризовать коэффициентом концентраций напряжений [3]

$$k = \frac{\sigma_{\theta}^{\max}}{\sigma_{\sigma}}, \quad (1.2)$$

где  $\sigma_{\theta}^{\max}$  – максимальное растягивающее напряжение в сечении от действия внешней нагрузки;

$\sigma_{\sigma}$  – среднее (номинальное) напряжение в ослабленном сечении.

Степень концентрации напряжений зависит не только от диаметра отверстий и расстояния между ними, но и от способа получения отверстия, обработки его поверхности и прилегающей к нему, способа клепки, т. е. от технологических факторов.

### ***Технологические факторы***

Достоинством технологических методов повышения выносливости соединений является отсутствие необходимости конструктивных изменений и, следовательно, увеличения веса конструкции. Технологические факторы можно разделить, в свою очередь, на две группы.

Первая группа, включающая инструмент, способы, режимы обработки, связана с образованием отверстий под заклепки. Она определяет: параметры, характеризующие состояние поверхностного слоя — степень шероховатости; направление гребешков шероховатости; степень и глубину наклепа; величину, глубину и знак остаточных напряжений.

Вторая группа технологических факторов связана с операцией клепки, которая сопровождается пластическим деформированием материала деталей от радиального натяга.

Следует отметить значительную неравномерность распределения натяга по толщине пакета при клепке. В сечениях со стороны закладной головки натяг в несколько раз меньше, чем в сечениях у замыкающей головки, особенно для потайных соединений в пакетах толщиной  $\delta$  более одного диаметра  $d$  стержня заклепки, т. е.  $\delta > d$ . Для предотвращения этого явления предлагаются различные решения, позволяющие выравнять натяг по толщине пакета и значительно увеличить его (они будут рассмотрены в разделе 1.4).

### 1.3 Причины повышения усталостной прочности соединения с натягом

Причины повышения усталостной прочности соединения от натяга на качественном уровне могут быть выявлены рассмотрением напряженного состояния материала в зоне отверстия и картины взаимодействия элементов соединения при нагружении переменными нагрузками.

Если в выделенном одиночном соединении заменить напряжениями действие отброшенных частей, то можно представить пластину с отверстием в виде, показанном на рисунке 1.1 (для симметричного соединения, например, двусрезного).

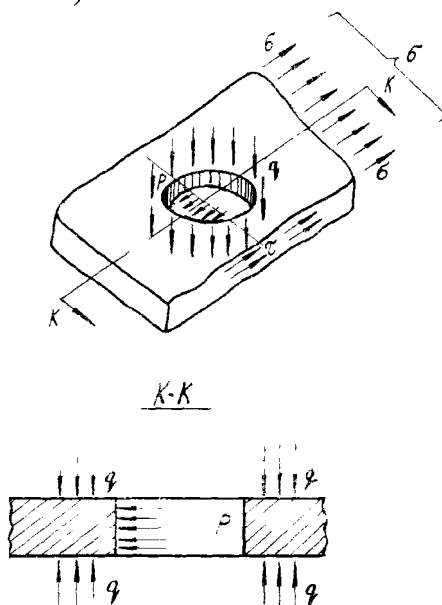


Рисунок 1.1 — Нагрузки, действующие в зоне отверстия усталостно-слабого элемента соединения — пластины

В пределах упругих деформаций справедлив принцип суперпозиции и совокупность воздействия внешних сил может быть представлена как сумма воздействия каждой из нагрузок: сил давления стержня крепежного элемента на стенку отверстия, усилия сжатия пакета (силы трения для упрощения картины учитывать не будем). Учитывая быстрое затухание возмущений напряжений при удалении от концентратора напряжений — отверстия, выделенный элемент представим в виде бесконечной пластины с отверстием.

Напряжение от давления стержня на стенку отверстия представим как равномерно распределенное по толщине листа.

Для случая свободной посадки стержня в отверстие распределение по контуру отверстия радиальных  $\sigma_r$  и тангенциальных  $\sigma_\theta$  напряжений показано на рисунке 1.2 а, где вовнутрь контура отложены сжимающие напряжения.

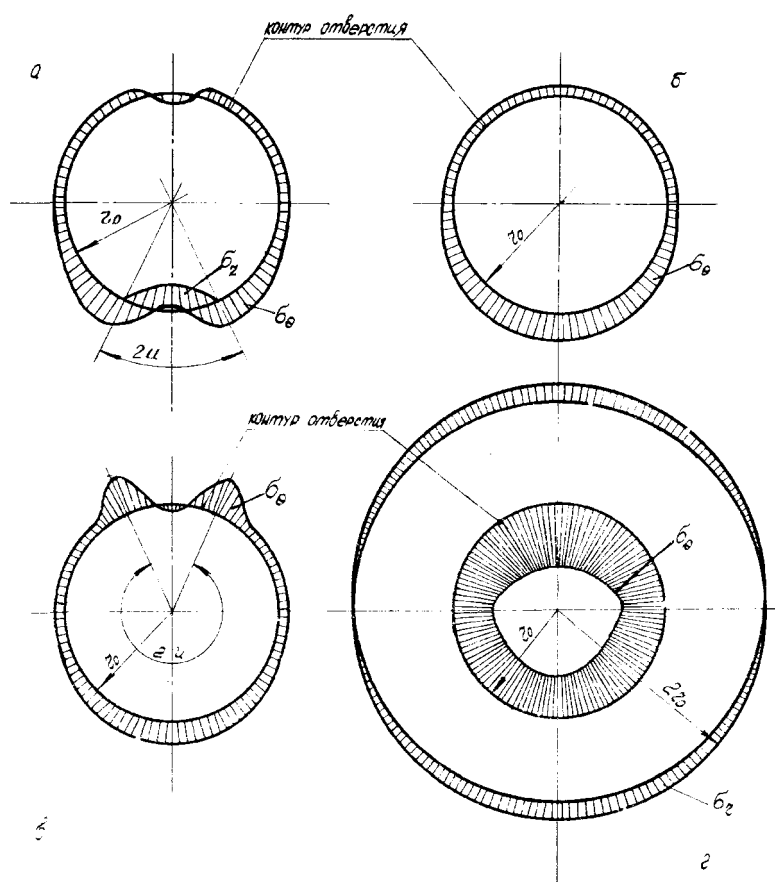


Рисунок 1.2 — Картина тангенциальных и радиальных напряжений на контуре и в зоне отверстия: а — при давлении стержня почти одинакового радиуса с отверстием, т. е. при посадке с натягом; б — при упругом радиальном натяге; в — при раскрытии стыка по контуру отверстия под действием упругого натяга; г — при действии внешней нагрузки и пластическом натяге

Происходит резкое возрастание нагрузки на границе угла контакта  $2U$  стержня со стенкой отверстия. Радиальные напряжения  $\sigma_r$  на контуре равны давлению стержня на стенку. По мере увеличения внешней нагрузки угол контакта увеличивается, но концентрация напряжений в зоне отверстия изменяется незначительно.

Для случая, когда стержень поставлен в отверстие с упругим радиальным натягом, распределение напряжений показано на рисунке 1.2 б. Отличие от предыдущего случая сохраняется лишь до момента раскрытия стыка, т. е. когда под действием возрастающей внешней нагрузки произойдет разрыв кругового контакта между стержнем и стенкой отверстия. В результате появится местный зазор, и картина напряжений будет такой, как на рисунке 1.2 в.

При больших радиальных натягах на поверхности отверстий тангенциальные напряжения становятся сжимающими.

Если условно наложить на эпюру напряжений от действия внешних сил без натяга эпюру напряжений с большим натягом, то получится эпюра напряжений, приведенная на рисунке 1.2 г. Может оказаться такое соотношение напряжений от внешней нагрузки и радиального натяга, что максимальные тангенциальные напряжения будут не на кромке отверстия, а несколько удалены от нее.

В соединениях с натягом при действии переменных нагрузок происходит уменьшение амплитуд напряжений по сравнению с соединением, не имеющим натяга. В результате уменьшается концентрация напряжений и увеличивается долговечность соединения.

Уменьшение амплитуд напряжений объясняется тем, что в том случае, когда под действием внешней нагрузки не происходит образования зазора между заклепкой и стенкой отверстия, схема работы соединения изменяется по сравнению со случаем посадки с зазором.

Угол контакта при этом составляет  $2U = 360^\circ$ . Поэтому нагрузка от стержня на стенку отверстия передается не только за счет увеличения давления на одной стороне отверстия, но и за счет уменьшения контактных радиальных напряжений натяга на другой стороне, т. е. при  $U > 90^\circ$ . В результате уменьшаются и величина амплитуд давления на стенку отверстия, и величина нагрузки, передаваемой через минимальное сечение соединяемой детали, за счет исключения доли нагрузки, приходящейся на часть угла контакта  $90^\circ < U < 180^\circ$ . При достаточно малой величине натяга и, соответственно, достаточно большой величине нагрузки в соединении на протяжении части цикла будет образовываться зазор между стенкой отверстия и стержнем заклепки, что в реальной ситуации зачастую имеет место в зоне соединения под закладной головкой заклепки.

Характер напряженного состояния при этом будет промежуточным между рассмотренным случаем и посадкой с зазором. При малом значении натяга его влияние на изменение напряженного состояния может быть оценено следующим образом.

В соединении с зазором максимальное значение тангенциального напряжения согласно (1.2) составляет  $\sigma_{\theta}^{\max} - k\sigma_{\text{вн}}$ , а минимальное значение  $\sigma_{\theta}^{\min} = 0$ .

Амплитуда напряжения

$$\sigma_{\theta_l}^a = \frac{1}{2}(\sigma_{\theta}^{\max} - \sigma_{\theta}^{\min}) = \frac{1}{2}k\sigma_{\text{вн}} - k\sigma_{\text{вн}}^a, \quad (1.3)$$

где  $\sigma_{\text{вн}}^a$  — амплитуда напряжений от внешней нагрузки в ослабленном сечении.

При малом натяге, когда под нагрузкой появляется местный зазор, можно считать, что  $\sigma_{\theta}^{\max}$  будет таким же, как при посадке без натяга. Однако минимальное значение тангенциальных напряжений не равняется нулю и составляет

$$\sigma_{\theta}^{\min} = \sigma_{\theta}^n, \quad (1.4)$$

где  $\sigma_{\theta}^n$  — тангенциальные напряжения, обусловленные натягом и пропорциональные его величине.

Максимальная амплитуда тангенциальных напряжений будет равна

$$\sigma_{\theta_{II}}^a = \frac{1}{2}(\sigma_{\theta}^{\max} - \sigma_{\theta}^{\min}) - \frac{1}{2}(k\sigma_{\text{вн}} - \sigma_{\theta}^n) = k\sigma_{\text{вн}}^a - \frac{1}{2}\sigma_{\theta}^n. \quad (1.5)$$

Следовательно, амплитуда напряжений уменьшается на величину  $\frac{1}{2}\sigma_{\theta}^n$ , а коэффициент концентрации напряжений уменьшается и будет равен

$$k' = \frac{\sigma_{\theta_{II}}^a}{\sigma_{\text{вн}}} = k - \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\theta}^n}{\sigma_{\text{вн}}}. \quad (1.6)$$

Таким образом, снижение концентрации напряжений пропорционально величине напряжения натяга  $\sigma_{\theta}^n$ . Рассмотренная связь величины натяга с амплитудой и максимальными значениями напряжений в соединении согласуется с экспериментальными данными (рисунок 1.3) [4].

Такая картина наблюдается вплоть до значений натяга, при которых под нагрузкой не будет образовываться местный зазор, т. е. контактные

радиальные напряжения будут больше, чем уменьшение давления на стенку в случае  $2U = 360^\circ$ .

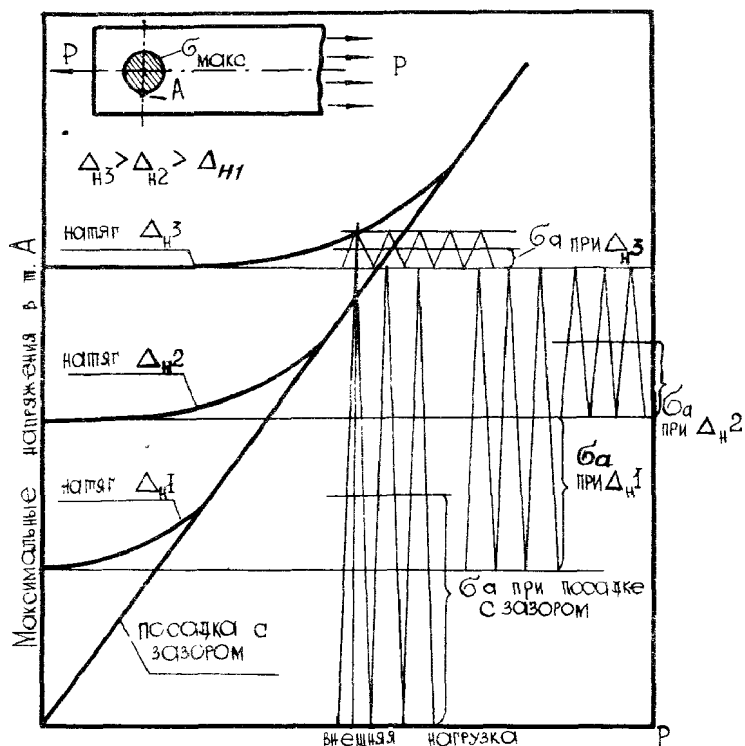


Рисунок 1.3 — Принципиальная схема взаимодействия посадки штифта в отверстие и амплитуды напряжений в опасном сечении пластины

Коэффициент концентрации напряжений при этом снижается до своего минимального значения и теоретически при дальнейшем увеличении натяга не изменяется.

Изменение характера напряженного состояния при применении посадки с натягом подтверждается изменением характера разрушения заклепочных соединений (рисунок 1.4).

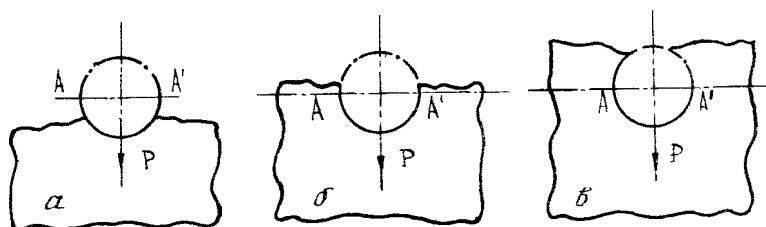


Рисунок 1.4 — Вид разрушения в зоне отверстия при различном натяге в соединении: а — посадка с зазором; б — посадка с небольшим натягом; в — посадка с пластическим натягом

Смещение мест образования усталостных трещин свидетельствует об уменьшении концентрации напряжений (рисунок 1.2 а, в), а также о связи места начала усталостного разрушения с границей зоны контакта.

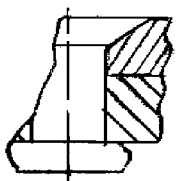
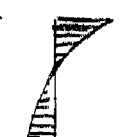




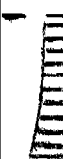
Итак, основным направлением повышения выносливости соединений технологическими методами следует считать создание остаточных сжимающих напряжений в зоне отверстия.

### 1.4 Способы обеспечения высокого радиального натяга в заклепочных соединениях

Для повышения ресурса клепаных конструкций главным образом за счет создания в пакете повышенного радиального натяга, равного 2—5%, разработаны заклепки с компенсаторами, способы клепки с образованием потайной замыкающей головки и клепки стержнями, повышенным давлением и ряд других [5]. Особое внимание при этом уделялось получению высокоресурсных потайных заклепочных соединений.

Как правило, при обычной клепке с потайной закладной головкой заклепки радиальный натяг возникает только рядом с замыкающей бочковидной головкой и, быстро уменьшаясь, исчезает (особенно при многоударной клепке), зачастую не доходя до плоскости соприкосновения деталей (таблица 1а).

Таблица 1

Основные характеристики заклепочных соединений и способы их получения	Виды соединений и значения их характеристик					
	Заклепка обычная	С компенсатором	«Локхид»	ПЗГ	Стержень	КЗО
	а	б	в	г	д	е
Усталостная долговечность (K=0.3)	100%	500%	700%	800%	1000%	1260%
Сверление отверстий. Клепка. Доводка	H12 Одиночная (O) Не требуется	H12 O+Групповая (Г) Требуется (Т)	H12 O+Г Т	H11 O+Г Т	H11 O+Г Т	H11 O Т
Характер натяга по высоте пакета 	Натяг    Зазор 					
Характер разрушений	По обшивке	По обшивке	По обшивке	По каркасу	По обшивке	По обшивке

Так как в самолетных конструкциях потайные заклепки применяют и для сравнительно тонких обшивок (1,0-2,0мм), зенковка гнезда под головку потайной заклепки в этом случае занимает почти всю толщину листа и в обшивке заклепка практически полностью находится без натяга. Это одна из главных причин того, почему усталостные разрушения у заклепочных соединений начинаются с обшивки. В то же время сам факт начала разрушения снаружи, со стороны доступной ежедневному осмотру, является положительным с позиции надежности конструкций, работающих при наличии повреждения.

Отсутствие натягов головок заклепок в обшивке требует при герметичной клепке внутришовной герметизации, что резко усложняет и удлиняет цикл сборки, приводит к дополнительному утяжелению конструкции.

Таким образом, наряду с натягом, создаваемым в отверстии стержнем заклепки, необходимо обеспечить натяг также и в зоне потайной головки заклепки.

### ***Клепка заклепками с компенсатором***

Клепка заклепками с компенсатором является достаточно простым и технологичным способом получения натяга в заклепочных соединениях. Компенсатор имеет вид бугорка или иной формы выступа, расположенного на торцевой поверхности закладной головки заклепки.

В процессе клепки компенсатор внедряется в закладную головку и действует подобно клину, вызывая радиальное течение материала в закладной головке, особенно в потайных заклепках и прилегающей зоне стержня заклепки, что обеспечивает более равномерный натяг по толщине пакета и улучшает как выносливость, так и герметичность соединения. Форма и размеры компенсатора выбираются таким образом, чтобы сохранить усилие расклепывания в пределах, обусловленных обычной клепкой, и в то же время обеспечить необходимую величину натяга.

Проведенные испытания показали, что при применении заклепок с компенсатором выносливость соединений повышается в 5-6 раз по сравнению с соединениями, склепанными обычными заклепками (таблица 1, б).

В ходе исследований и опытно-промышленной проверки было установлено, что требования к точности изготовления отверстий под заклепки с компенсатором соответствуют действующим стандартам, а клепка такими заклепками может быть осуществлена на прессах КП-602, КП-503 и т. п.



В настоящее время заклепки с компенсатором успешно применяются как на отечественных самолетостроительных предприятиях, так и за рубежом, например (таблица 1 в) заклепка ОС -1005 (нормаль фирмы «Локхид»).

Однако, наряду с перечисленными преимуществами, клепка заклепками с компенсаторами имеет и ряд недостатков: при клепке толстых пакетов ( $\delta > 1,5d$ ) не удается достигнуть равномерного распределения натяга по толщине пакета и обеспечить герметичность соединения: не обеспечивается достаточно стабильное качество соединений при клепке ручным инструментом.

### ***Клепка с образованием потайной замыкающей головки***

Сущность способа клепки с образованием потайной замыкающей головки (ПЗГ) заключается в том, что заклепка с полукруглой или плоской закладной головкой устанавливается со стороны цилиндрической части отверстия, а потайная замыкающая головка образуется из удлиненного стержня заклепки путем его осаживания в зенкованную лунку отверстия. Выступающая над поверхностью лунки часть потайной замыкающей головки удаляется механической обработкой, за счет чего дополнительно улучшается качество внешней аэродинамической поверхности (таблица 1, г).

Способ клепки ПЗГ позволяет: повысить герметичность и долговечность заклепочных соединений за счет более качественного заполнения цилиндрической части отверстия и создания более равномерного по толщине пакета натяга; устранить зазор под потайной головкой и создать натяг в этой зоне; более широко использовать прямой метод клепки, так как обжимка располагается со стороны обшивки.

Испытания соединений показали, что они обладают повышенными прочностными характеристиками по сравнению с выполненными по способу обратной клепки потайными заклепками: статическая прочность на срез возрастает на 5-7%; предельная величина напряжений смятия в соединениях с ПЗГ выше в 1,5-2 раза; выносливость при срезе выше в 1,5-3,7, а при отрыве в 1,3-2 раза.

Однако следует отметить, что способ клепки с ПЗГ рекомендуется применять только в тех случаях, когда нагруженная обшивка после зенкования имеет цилиндрическую часть отверстий не менее 25% от толщины обшивки. При более глубокой зенковке обшивка при клепке сильно коробится и теряет герметичность.

Экспериментально установлено, что наиболее полно удовлетворяет условиям прочности и технологичности лунка под потайную замыкающую головку в виде двойного конуса: угол основного конуса  $80^\circ$  при высоте  $0,25d$  и вспомогательного конуса  $20^\circ$  при высоте  $0,15d$ . Поэтому

толщина листа, в котором формируется ПЗГ, должна быть не меньше половины диаметра стержня заклепки.

Широкое применение клепки по способу ПЗГ в настоящее время сдерживается также тем, что при этом требуется специальная доводка клепальных прессов, например, предъявляются повышенные требования к обеспечению жесткости штампов и параллельности их рабочих поверхностей. Нарушение этого условия, а также увеличение длины стержня ведет к так называемому «завалу» стержня заклепки. А сами штампы должны иметь насечку на рабочей части обжимки и упоры с фторопластовыми пластинами, служащими для предотвращения отпечатков на поверхности обшивки. По этой же причине практически невозможно осуществлять стабильную клепку по способу ПЗГ клепальными пневмомолотами. Определенные затруднения вызывает и процесс фрезерования выступающей части потайной замыкающей головки, так как объем этой части достаточно велик.

Кроме того, клепка ПЗГ, как и клепка заклепками с компенсатором, оказывается недостаточно эффективным способом получения высокого натяга при клепке толстых пакетов, с которыми в последние годы все чаще приходится иметь дело.

На большой толщине пакета при расклепывании только со стороны замыкающей головки можно обеспечить существенный диаметральный натяг при прессовой клепке примерно на глубину 2,5 мм при диаметре заклепки 4 мм. Таким образом, при клепке с ПЗГ толстых пакетов ( $\delta > 2d$ ) возникает опасность перехода начала разрушения на каркас, где трещину очень трудно обнаружить. В связи с этим клепка с ПЗГ используется в настоящее время исключительно при клепке стержнями, когда одновременно формируются обе головки. Возможности расширения использования этого метода рассмотрены в разделе 2.3 данного пособия.

### ***Клепка стержнями***

Клепка стержнями является одним из наиболее эффективных способов получения заклепочных соединений с высоким и равномерным по толщине пакета натягом. Сущность ее заключается в том, что в отверстие вставляется гладкий цилиндрический стержень, а затем производится его осадка одновременно с двух сторон с образованием потайных или выступающих замыкающих головок (таблица 1, д).

Процесс образования фактически двух замыкающих головок создает благоприятные условия для реализации высокого равномерного натяга

по всей толщине пакета, т. е. и в обшивке, и в каркасной детали одновременно.

Впервые стержни-заклепки, а также автоматическое оборудование для их постановки были предложены фирмой «Джемкор» [3, 6].

При правильной технологии расклепывания стержней усталостное разрушение может начаться с обшивки при резком увеличении (по сравнению с обычной клепкой) числа циклов до повреждения. Для максимального увеличения долговечности необходимо, чтобы на стыке обшивки и каркаса заклепка создавала натяг не менее 0,7% от диаметра заклепки, что соответствует напряжению от натяга примерно на уровне предела пропорциональности.

Особенностью клепальных автоматов фирмы «Джемкор» является то, что вокруг будущего отверстия первоначально создается мощное сжатие пакета (рисунок 1.5), которое не снимается до окончания всего цикла клепки, включающего следующие операции: 1 — позиционирование и сжатие пакета; 2 — сверление и зенкование отверстия, отвод стружки; 3 — вставка стержня (верхний плунжер перемещается вниз, а нижний — вверх, чтобы начать расклепывание); 4 — одновременное формирование замыкающей головки — в результате перемещения вверх нижней обжимки и потайной головки — вследствие перемещения вверх обрабатываемой панели; 5 — зачистка потайной головки и отвод стружки; 6 — отвод прижимов и перемещение панели в следующую рабочую позицию по программе.

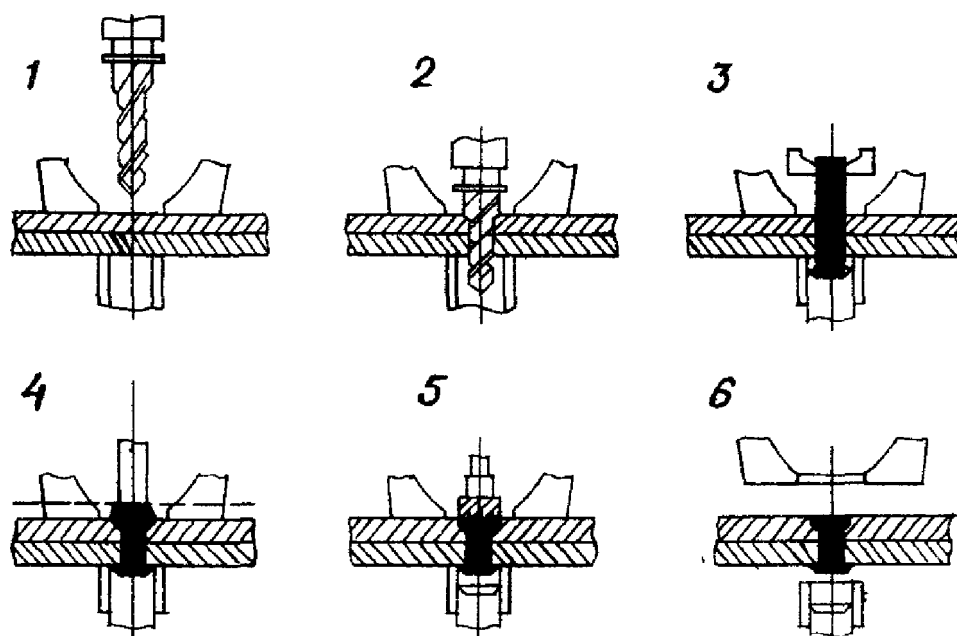


Рисунок 1.5 — Схема клепки стержнями на клепальном прессе-автомате с ЧПУ

Эта особенность технологического процесса клепки позволяет избежать образования заусенца на стыке склепываемых деталей (а следовательно, исключить разборку пакета для снятия заусенцев) и появления фреттинг-усталости. Запрограммированное изменение скорости подачи в момент начала и конца сверления исключает появление заусенца на входе и выходе сверла-зенковки.

Отсутствие в Российской Федерации подобных автоматов для клепки стержней привело к необходимости создания технологии клепки стержней на существующих клепальных прессах. Для этой цели были созданы специальные штампы и разработаны варианты заклепок типа «Стержень» — УЗ и СКН, имеющие технологические закладные головки. В этом случае сначала производится образование отверстий, например, на сверлильно-зенковальной установке (СЗУ), затем вставляются заклепки и на прессе с помощью специального штампа образуется соединение, после чего фрезеруются потайные головки.

Естественно, что для данного способа непригоден и существующий ручной ударный инструмент.

### ***Клепка повышенным давлением***

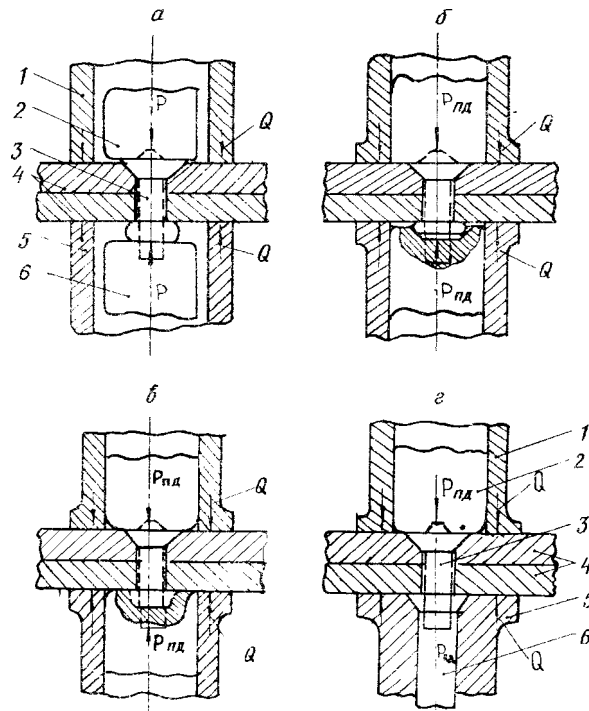
Клепка повышенным давлением включает в себя ряд способов, основанных на создании при образовании замыкающей головки заклепки усилий, значительно превышающих усилия, необходимые для обычной клепки [5].

К этому виду следует отнести следующие способы клепки: полустесненная осадка заклепок; полустесненная двусторонняя осадка заклепок; осадка заклепок в замкнутом объеме (рисунок 1.6).

Два первых способа клепки позволяют получать в соединениях гарантированный натяг величиной до 10%, а способ клепки в замкнутом объеме — до 20%, причем натяг обеспечивается и при клепке пакетов толщиной более  $1,5d$ . Рассмотрим более подробно предельный случай клепки повышенным давлением — клепку в замкнутом объеме (КЗО) (таблица 1, е).

Клепка в замкнутом объеме является наиболее эффективным способом обеспечения натяга на уровне 5-10%, практически равномерно распределенного по всей толщине пакета, составляющей  $1,5d$  и более.

Схема выполнения соединений этим способом представлена на рисунке 1.6 г.



$P$  — усилие клепки;  $Q$  — усилие сжатия пакета

Рисунок 1.6 — Схемы процессов осадки заклепок: а — открытая; б — полустесненная; в — с полным стеснением; г — в замкнутом объеме; 1,5 — прижимы с усилием; 2,6 — обжимки; 3 — заклепка; 4 — склепываемый пакет

Характерной особенностью способа КЗО является достижение такого момента, когда заклепка в процессе осадки полностью заполняет объем, образованный обжимкой, отверстием пакета, прижимом и подвижным пуансоном. После того как сформирована замыкающая головка, процесс клепки не заканчивается и повышение давления продолжается. Под действием повышенного давления весь объем материала заклепки достигает пластического состояния, создавая давление на элементы, образующие замкнутый объем. Поскольку обжимку, пуансон и прижим можно считать абсолютно жесткими, то возможна лишь радиальная деформация стенок отверстия. Такая схема процесса клепки обеспечивает гарантированный натяг по всему пакету с максимально применяемыми толщинами — до  $4-5 d$ .

К недостаткам процессов клепки повышенным давлением следует отнести: повышенные требования к настройке оборудования; повышение процента брака от «завала» стержня заклепки вследствие увеличения длины стержня заклепки, необходимой для достижения натягов до 10%; трудности применения существующего ручного инструмента.

Способы клепки повышенным давлением позволяют поднять усталостную долговечность в несколько раз, а клепка в замкнутом объеме — в 10 — 12 раз (таблица 1е).

## **1.5 Машины и оборудование, применяемые для клепки**

Образование заклепочного соединения производится прессовым способом или ударом. При прессовой клепке применяют клепальные прессы или автоматы, а при ударной — пневматические клепальные молотки.

### ***Стационарное оборудование***

В промышленности применяется большое количество различных прессов для групповой и одиночной клепки [3,6]. Широкое применение в отечественном машиностроении находят клепальные автоматы, например, серии АК (АК-2,2-0,5; АК-5,5-2,4 и др.). Автоматы обеспечивают при постоянно сжатом пакете образование отверстия, постановку в него заклепки и формирование замыкающей головки. Отдельные автоматы оснащены фрезерной головкой для зачистки головки заклепки, выступающей над аэродинамической поверхностью пакета.

Автоматы обеспечивают высокое качество заклепочного соединения и производительность до 20 заклепок в минуту.

В случае оснащения автоматов позиционерами с автоматическим управлением, они могут обеспечить клепку целых узлов или агрегатов в автоматическом режиме.

### ***Прессовая клепка***

Прессовая клепка характеризуется тем, что замыкающая головка заклепки формируется при равномерном сжатии стержня со скоростью до 1-2 м/с. Различают одиночную и групповую прессовую клепку. При одиночной клепке за один ход прессы расклепывается одна заклепка, а при групповой — несколько. Как показал опыт авиационной промышленности, высокое качество заклепочных соединений достигается при клепке не групповой, а одиночной. Причиной тому является более стабильная величина натяга заклепки в отверстии при одиночной клепке. Поскольку

пресс групповой клепки настраивается на высоту замыкающей головки, то все отклонения параметров соединения — диаметров отверстия и стержня заклепки, толщины пакета и длины стержня заклепки, геометрии и глубины зенковки — нивелируются по всей группе одновременно расклепываемых заклепок. В результате при высоком качестве клепки в целом зачастую попадаются заклепочные соединения с недостаточным натягом, характеризующиеся малой герметичностью и низкой усталостной прочностью.

Вследствие этого недостаточная технологическая надежность процесса получения заклепочных соединений может снизить эксплуатационную надежность изделия в целом.

Прессы для одиночной клепки настраиваются, как правило, на усилии расклепывания, что позволяет обеспечить постоянный натяг во всех соединениях, поскольку колебания вышеупомянутых параметров будут компенсированы за счет объема замыкающей головки заклепки. По указанным причинам в авиационной промышленности прессы для групповой клепки зачастую применяют для расклепывания не более чем двух заклепок одновременно.

Возможность применения того или иного пресса зависит от подходов к месту клепки, диаметра и материала заклепок, размеров узлов и панелей и других конструктивных и технологических факторов.

### ***Переносные прессы***

Увеличение объема прессовой клепки достигается усовершенствованием конструкций облегченных ручных прессов путем максимального снижения их массы, обеспечения достаточно высоких усилий и возможности подхода к требуемой рабочей зоне. Переносные прессы в виде скоб (подвесных или ручных) позволяют механизировать процесс и обеспечить расклепывание заклепок больших диаметров или из высокопрочных материалов. Применяются эти прессы в условиях стапельной сборки или внестапельной доработки узлов и агрегатов, когда клепка на стационарном оборудовании невозможна или нецелесообразна. Ручные прессы отличаются высокой работоспособностью, небольшой массой, портативностью и удобством в работе. Главными их недостатками можно считать ограничения по вылету скобы и быстрый рост веса скобы с увеличением вылета и усилия прессования. Поэтому в практике редко применяют скобы с вылетом более 300 мм и усилием прессования более 8 000 кг.

Прессовая клепка получила наибольшее распространение в производстве летательных аппаратов, где одним из показателей уровня произ-

водства является степень механизации клепальных работ. Это связано с такими достоинствами прессы, как высокое качество и стабильность соединений, не зависящие от квалификации исполнителей; высокая производительность; возможность автоматизации процесса; отсутствие влияния вибрации и шума на исполнителей; лучшее качество поверхности заклепочного шва без местных деформаций обшивки; отсутствие забоин и царапин, которые часто возникают при клепке пневмомолотком.

### ***Сверлильно-клепальные автоматы***

Для существенного повышения качества изделий и производительности клепальных работ необходима комплексная автоматизация процесса по всем входящим в него операциям. Эта задача решается путем создания и внедрения в производство клепальных автоматов.

Соединения, выполняемые автоматами, обладают надежными показателями за счет:

- концентрации операций сверления, зенкования, клепки в одной рабочей позиции с использованием единых баз;
- стабильности усилий сжатия пакета;
- повышения точностных параметров швов;
- снижения влияния субъективных факторов (особенности состояния рабочих) на процесс клепки и улучшение условий труда;
- возможности отказа от направляющих отверстий, что снижает трудоемкость изготовления деталей, узлов;
- сокращения трудоемкости работ по установке и снятию технологического крепежа;
- возможности на многих узлах исключать герметизацию, так как автомат обеспечивает герметичность соединения.

Кроме того, значительно снижается стоимость изготовления самолетов, трудоемкость клепки снижается в 1,5-1,7 раза, численность рабочих, занятых на стационарном оборудовании, сокращается на 30-35%, производственные площади уменьшаются на 25-30%.

В настоящее время промышленность располагает целым рядом клепальных автоматов и автоматических установок различной мощности и целевого назначения. По этим признакам оборудование может условно подразделяться на три группы мощности, а по технологическим возможностям, связанным с установкой различного вида деталей крепления, — на клепку заклепками и клепку стержнями.

Представителями первой (малой) группы мощности с усилием расклепывания до 50 кН являются автоматы АК-2,2-0,5; АК-2,2-0,6П; уста-



новки УКПА-1; У2,5-АК-3,4-0,8. Они предназначены для образования заклепочного соединения в конструкциях легких и средних узлов из алюминиевых сплавов.

Автомат АК-2,2-0,5 может устанавливать заклепки с потайной, плоской и полукруглой закладными головками одного типоразмера по диаметру и длине в автоматическом цикле, включающем следующие операции:

- сжатие пакета в зоне клепки;
- сверление или сверление и зенкование отверстий;
- вставку заклепки в просверленное отверстие;
- образование плоской замыкающей головки.

Ко второй (средней) группе мощности с усилием расклепывания свыше 50 кН относятся автоматы АК-5,5-2,4; АКЗ-5,5-1,2; установка У18-АКФ-5,5-2,4.

Эти автоматы выполняют установку в крупногабаритные изделия с использованием цикловой системы автоматизации крепежного элемента одного типоразмера по диаметру и длине. Для установки заклепки другого типоразмера требуется переналадка автомата. Автомат АКЗ-5,5-1,2 отличается возможностью осуществлять кроме указанных ранее операций технологического цикла нанесение грунтующе — герметизирующего компонента в просверленное отверстие и зачистку выступающей части закладной головки заклепки. При клепке узлов больших габаритов автомат может быть оснащен специальным поддерживающим устройством (ПУ), например, по типу ВУП-6К.

К автоматам третьей группы мощности принадлежат базовые модели АК-16-3 и АКД-16-2. Автоматы могут устанавливать заклепки с потайной и плоской закладными головками, а также стержни-заклепки одного типоразмера по диаметру и длине в автоматическом цикле, включающем:

- перемещение изделия на шаг заклепочного шва;
- выравнивание поверхности изделия в зоне клепки;
- слежение и выдерживание заданной перемычки;
- сверление или сверление и зенкование отверстий с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ);
- нанесение уплотняющих или защитных компонентов на зенкованную часть отверстия;
- вставку заклепки или стержня в отверстие, образование плоской замыкающей головки заклепки или двухсторонних замыкающих головок при клепке стержнями;
- зачистку выступающей части потайной головки заклепки;
- отвод инструментов в исходное положение.

Кроме полного автоматического цикла можно осуществлять отдельные автономные циклы, включающие один или несколько технологических переходов. Принципиальное отличие автоматов АК-16-3, АКД-16-2 и компоновок установок с использованием этих моделей в том, что автомат АК-16-3 установлен неподвижно относительно обрабатываемой панели, закрепленной на ложементах ПУ и передвигаемой в пространстве относительно оси инструментов прессы.

В компоновках установок с использованием автомата АКД-16-2 изделие устанавливается неподвижно, а силовые головки и весь автомат в целом перемещаются относительно изделия, обеспечивая положение оси заклепки по нормали к поверхности панели. Автоматы обеспечивают производительность до 20 заклепок в минуту.

Широкая автоматизация процессов клепки — это комплексная программа, решение которой зависит от разных предприятий, начиная с разработчиков изделия и кончая предприятиями, эксплуатирующими автоматы. Методы выполнения заклепочных соединений повышенного ресурса должны закладываться на стадии эскизного проектирования изделий. В настоящее время большинство конструкций отечественных изделий нетехнологично для выполнения соединений в автоматическом режиме. Проектируются они без учета требований к сборочным единицам, подлежащим переводу на автоматическую клепку. В конструкциях клепаных узлов заложена большая номенклатура заклепок. Во многих соединениях в качестве силовых элементов жесткости преобладают профили закрытого типа с разнонаправленным (продольным и поперечным) и двухсторонним расположением. Применяется большое число многослойных пакетов из разнородных материалов с различными механическими свойствами, клиновидные прокладки (дублеры). В результате уровень охвата заклепочных соединений автоматической клепкой низкий [14].

Проблемами повышения технологичности клепаных конструкций являются:

- унификация профилей с максимальным применением профилей открытого типа;
- унификация заклепок;
- обеспечение постоянного шага заклепок;
- однонаправленное и одностороннее расположение силовых элементов;
- оптимизация схем членения конструкций;
- решение вопроса разметки узлов под автоматическую клепку.

При создании новых изделий должны учитываться технологические возможности перспективного автоматического сверлильно-клепального оборудования.

Качество автоматов, их безотказность, эксплуатационная долговечность зависят от завода-изготовителя, заводов, поставляющих приборы и аппаратуру, от условий и характера транспортировки оборудования. Достаточное внимание вопросам внедрения автоматов должны уделять серийные предприятия, эксплуатирующие их. При этом необходимо обеспечивать осуществление ряда организационных мероприятий:

- должно быть налажено централизованное обслуживание автоматов механиками, электриками, гидравликами;

- должно использоваться материальное стимулирование операторов, поощряемых за безотказную работу оборудования;

- необходимо уделять внимание подготовке операторов, их закреплению за автоматами;

- вовремя должны осуществляться текущий ремонт, проводиться регламентные работы.

Например, характерной особенностью производства ЛА в США является комплексная автоматизация всех операций, связанных с постановкой заклепок. Зарубежные конструкторы стремятся создать такие конструкции самолетов, в которых все возможные соединения выполняются машинной клепкой, что повышает качество ЛА, снижает стоимость рабочей силы, позволяет достичь значительной экономии средств.

Среди автоматического клепального оборудования ведущее место занимают сверлильно-клепальные автоматы фирмы «Джемкор», которые поставляются в различные страны. Кроме «Джемкор» выпускаются они также специализированными фирмами «Срасо» и «Olford» (США). Выпускаются автоматы различных модификаций, предназначенные для клепки панелей крыла и фюзеляжа, носовых отсеков крыла и других сборочных единиц. В зависимости от габаритных размеров и контуров панелей, они снабжаются соответствующими выравнивающими или поддерживающими устройствами с ЧПУ. Конструкции автоматов могут работать как в ручном, так и в автоматическом цикле. При ручном выполнении можно выполнять операции выборочно: только сверлить или только расклепывать и т. д.

В автоматическом цикле обеспечивается полный цикл: сверление, зенкование, клепка, зачистка головок заклепок со стороны аэродинамической поверхности и перемещение на шаг клепки. Наибольшее распространение получили автоматы «Drivmatik» фирмы «Джемкор» моделей G-200, G-39/АН-96, G-300, G-400В, G-6535, G-666, G-747 и другие. Широкое применение клепальных автоматов в ведущих самолетостроительных фирмах США: «Боинг», «Дуглас», «Локхид» и других обеспечивает ресурс соединений до 60000 л. ч., высокую степень их герметичности, снижение трудоемкости клепальных работ в 3-4 раза.

Фирма «Джемкор» все время совершенствует процессы автоматической клепки. Она создала 6-координатную автоматическую позиционную систему G-79 с ЧПУ. Эта 6-координатная система предназначена для работы в сочетании со сверлильно-клепальным автоматом и обеспечивает шестикординатное перемещение по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и вращательные  $A$ ,  $B$ ,  $C$  относительно них, как показано на рисунке 1.7. В системе позиционирования используется ЧПУ для выполнения обычных функций, включая интерполяцию. Движение по всем 6 координатам программируется. Фирма ведет работы по обеспечению автоматизированных процессов выполнения соединений совершенными роботами или манипуляторами. Эти работы ведутся в двух направлениях:

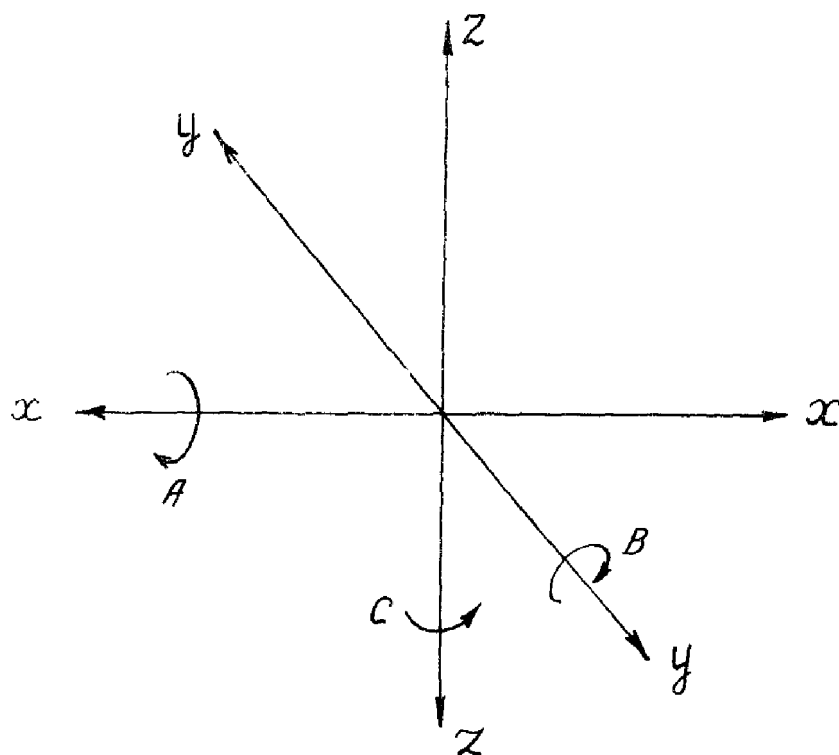


Рисунок 1.7- Схемы перемещения автоматической позиционной системы

— использование роботов в технологии производства клепаных деталей и узлов небольших габаритов, где робот осуществляет операции транспортировки и позиционирования клепаного узла;

— использование роботов для выполнения соединений в крупногабаритных узлах в условиях стапельной сборки, где робот с помощью клепальной головки (автомата) осуществляет операции выполнения соединений в автоматическом цикле.

Фирма «Джемкор» продолжает работы по совершенствованию и расширению применения роботов в области выполнения заклепочных соединений.

Фирма «JVM» разработала основные принципы проектирования изделий, изготавливаемых методом роботизированной сборки.

Предполагается, что конструкции узлов, агрегатов должны удовлетворять следующим требованиям: минимальное число деталей, минимальное перемещение при сборке, удобство манипулирования деталями.

Фирма «Aluminium Co of America» сообщает, что расширение применения роботов позволит использовать для заклепок более твердые и вязкие алюминиевые сплавы типа 7050. Этот сплав слишком тверд, чтобы заменить сплав 2024 при ручных операциях.

Первый робот был применен фирмой «General Dynamics» для сверления отверстий в вертикальном оперении из графитоэпоксидного пластика для самолета F-16. Первоначально фирма применила 5 роботов: для сверления отверстий в графитоэпоксидной обшивке горизонтального оперения, отверстий в алюминиевых съемных панелях и отверстий в крыле. Затем было использовано еще 5 роботов: 3 — для сборочных работ в крыле, 2 — на сборке съемных панелей фюзеляжа. В итоге производительность труда возросла в 3-5 раз.

Фирма «Lockheed» работала над созданием первой линии сборки самолетных узлов с применением роботов, используя для контроля деталей, их поиска, определения мест крепления, проверки точности выполнения соединения новейшую компьютерную систему видения. Первыми узлами, которые собирали роботы в производственных цехах, являются стенки перегородки пола самолета C-130 Hercules (в перегородке содержится 11 отдельных деталей и 154 заклепки). Время рабочего цикла промышленного робота (ПР) по сравнению с продолжительностью цикла, выполняемого вручную, сократилось в 2 раза (с 22 до 11 мин).

В состав робототехнического комплекса входят: ПР фирмы «Cincinnati Milacron» (США), упрочненные зажимные приспособления, рабочий стол и автоматизированный клепальный пресс. В дальнейшем предполагалось внедрить роботизированную сборку лонжеронов крыла, нервюр и других подобных узлов. Предусматривалось использование системы искусственного зрения на базе трех пространственных видеодатчиков [15].

Интересным новшеством стала разработка в США автоматизированного стапеля ASAT (Automatto Spar Assembly Tool) — объединившего клепальный автомат и сборочное приспособление. Машина-стапель разрабатывалась в течение 3,5 лет и стоила 2,5 млн. долларов. Она предназначена для сборки с внутришовным герметиком, для закрепления, свер-

ления и клепки лонжеронов крыла длиной 27 м широкофюзеляжного самолета В-767. Система позволяет наносить герметик непосредственно перед сверлением и клепкой, так как соединяемые поверхности больше не разбираются на всех этапах сборки лонжеронов. Машина-стапель поддерживает необходимое давление для удержания без повреждения герметика, наносимого между полкой и стенкой лонжерона, а также между стенкой лонжерона и вертикальными стойками. После закрепления частей лонжерона в требуемом положении между неподвижными фиксаторами две тележки, каждая из которых имеет датчики и систему управления, сверло и электропривод, магнитно-импульсный клепальный молоток, систему подачи заклепок, систему отсоса стружки, передвигаются по местам, указываемым компьютером. После того как датчики определяют толщину деталей, подлежащих закреплению, стапель создает давление для удержания этих деталей вместе. Подается команда на сверление отверстий в деталях и установку заклепок требуемого размера. Стружка удаляется с помощью вакуума, что сводит загрязнение ею к минимуму. После того как клепка закончена, тележка перемещается к месту расположения следующего отверстия, согласно программе. В каждом лонжероне крыла самолета В-767 сверлится 2900 отверстий. Время, затрачиваемое на подготовительные операции, включая движение кареток, разметку отверстий, сверление, составляет 9,4 с. Однако специалисты фирмы «Боинг», пытаются сократить его. Система ASAT позволяет внести любые изменения в конструкцию лонжерона на 15-20-летний срок службы самолета без использования нового механизированного оборудования. Используя установку ASAT, фирма рассчитывала сэкономить 50000 долларов на самолет, снизив на 20-30% общее число человеко-часов, затрачиваемое на изготовление 1 лонжерона. Одним из главных преимуществ этой системы, помимо экономии времени и стоимости рабочей силы, является устранение ручной механической обработки и необходимости использования новых державок сверла при каждом изменении конструкции лонжерона.

Первоначально ASAT была предназначена для установки заклепок из алюминиевого сплава 2024, хранящихся в холодильных камерах в свежезакаленном состоянии. Однако с применением сплава 7050 заклепки стали поставляться на сборку в искусственно состаренном состоянии и необходимость в холодильных камерах отпала. Фирма «Боинг» разработала техпроцесс сборки лонжеронов крыла В-767 на ASAT с помощью титановых заклепок.

В США разработаны роботы для удаления дефектных заклепок из авиационных конструкций. Юго-западный научно — исследовательский центр в г. Сан-Антонио (штат Техас) по контракту ВМС создал автома-

тизированную установку RDS для демонтажа заклепок или винтового крепежа. Установка подвижная с 6 степенями свободы, оснащена системой искусственного зрения и тактильными датчиками. Система предназначена для разборки корродированных крыльев самолета путем высверливания заклепок. ПР, входящий в систему, имеет руку с электроприводом. Длина руки 2,13 м. Система искусственного зрения и система управления на микропроцессоре обеспечивают точность позиционирования сверла в схвате этого робота относительно отверстия под заклепку в пределах  $+0,076$  мм.

Разработана специальная конструкция сверла для удаления заклепок, которая позволяет высверливать почти все типы заклепок без смены инструмента. Для выпрессовки остатков заклепок в рабочей головке предусмотрена возможность установки трех различных пуансонов, каждый из которых имеет свой пневмопривод. После удаления заклепки робот будет отмечать отверстия, требующие дополнительного контроля. Производительность робота — удаление одной заклепки в течение 30 с.

Для ведущих фирм авиационно-космической промышленности стран Западной Европы характерной тенденцией долгое время было сохранение хорошо изученных методов выполнения соединений и проведение лишь тех исследований, которые могли бы привести к снижению стоимости изделий. Такой подход сдерживал темпы технического прогресса и приводил к отставанию от промышленности США. Вместе с тем европейские фирмы внимательно следили за работой США по исследованию новых технологий и внедряли те разработки, которые они считали удачными. За счет этого расходовалось меньше средств на НИР, ОКР. Наиболее передовой в этом плане является промышленность Германии, ведущее положение в которой занимает фирма «VFW- Fokker». Согласно заявлению специалистов фирмы страны Западной Европы значительно отстают от США по объемам применения машинной клепки, что обуславливает высокую стоимость конструкций.

Уровень машинной клепки на основных европейских фирмах до недавнего времени составлял около 10%. Из них на автоматическую клепку приходилось 3-4%. В связи с этим стоимость изготовления гражданских самолетов в ФРГ была в 2 раза выше, чем в США (соответственно 4,4 и 2,2 дол. за 1 кг). По данным фирмы «VFW», 50% стоимости конструкции планера А-300 приходится на операции сборки, причем 90% этой стоимости составляет стоимость клепальных работ, остальные 10% приходятся на стоимость заклепок. Для снижения расходов на изготовление узлов и агрегатов самолетов А-300, А-310, А-320 фирмы Англии, Франции, Германии разработали автоматизированные линии, станки для вы-

полнения сборочно-клепальных процессов в условиях узловой и стальной сборки.

Долгое время сверлильно-клепальные работы выполнялись во Франции только на оборудовании, производимом в США. В настоящее время фирма «Recoules et Fils» (Франция) специализируется на производстве машинного оборудования для авиационной и ракетно-космической промышленности (АРКП). Ею создана серия автоматических станков для сверления и клепки авиационных конструкций. Серия состоит из 3 станков Peca 300S, 500, 600. Станок 300S имеет фиксированную нижнюю державку поддержки. Станки 500 и 600 имеют подвижные консоли. Величина вылета у 300S — 1200 мм, у 500 — 400 мм, у 600 — 600 мм при глубинах 1800 мм для 300S и 1550 мм для 500 и 600. Станки оборудованы следящими приборами, обеспечивающими согласование оси сверла с разметкой на склепываемой панели. По желанию потребителя на станки устанавливается эндоскопическая система позиционирования. Станки могут собирать панели крыльев длиной до 10 м.

Автоматизация оборудования, используемого в авиационной промышленности Германии для клепки, происходит в основном за счет периферических устройств, связанных с машиной: устройства для подвода заклепок заданной длины в зависимости от толщины соединяемых деталей; устройства для зажима пакета и сверления отверстий под заклепку; устройства для контроля качества соединения и т. п. с применением от 2 до 5 позиционирующих устройств, включая устройства с программным управлением, обеспечивающие автоматическую установку под рабочим инструментом заданной точки поверхности детали.

Благодаря автоматизации машин для клепки время на установку одной заклепки составляет от 2 до 3 с при уровне шума не более 80 дБ. Известны примеры машин для клепки с С — образной рамой, на которой расположены основные узлы, обеспечивающие процесс клепки, которая может быть ориентирована по трем линейным и двум угловым координатам относительно изделия массой до 250 кг и шириной до 2 м. Машины для клепки оснащены ПР и телевизионными камерами, с помощью которых может осуществляться позиционирование исполнительных узлов по точкам, размеченным краской на поверхности детали.

Современные машины с ЧПУ для клепки деталей в условиях мелко- и среднесерийного производства позволяют сократить затраты на переналадку при соединении деталей заклепками различных размеров, форм головок и материалов. Время переналадки клепальной машины ВК-323 (Германия) с 3 инструментами и подвижным двухкоординатным столом составляет около 30 мин. Детали, собираемые на этой машине, — пластины с габаритами 400x500 мм. При установке до 48 заклепок требуется



230 с. Время подготовки программы не более 2 часов. Применение машин для клепки с ЧПУ позволяет автоматизировать установку деталей в точке соединения, регулировать усилие на рабочем пуансоне и т. д. На такой машине возможна одновременная параллельная установка трех деталей малых габаритов или одной детали больших габаритов, а также автоматизация загрузки деталей за счет дополнительной установки маятниковых устройств и расположения деталей на специальных паллетах. Срок окупаемости машины — 2,5 года.

Германскими фирмами разработана конструкция шестикоординатного клепального автомата для соединения панелей обшивки аэробуса. Все функции автомата задаются программой от ЭВМ. Автомат соединяет детали, измеряет толщину материала, выбирает сверло-зенкер, заклепку, просверливает отверстие под заклепку, наносит антикоррозионное покрытие, вставляет заклепку, закрепляет ее и перемещается в следующую позицию. Вся операция длится несколько секунд. Клепальный автомат снабжен оптическим устройством Sensoric, осуществляющим поиск позиции заклепки.

Фирма «Demag» (Германия) совместно с французскими специалистами разработала и выпустила автоматический сверлильно-клепальный станок для нужд авиационной промышленности, как Франции, так и Германии. Разработаны станки двух видов: модели МД-80-1800 и МД-80-2500, предназначенные для сборки панелей различного размера.

Фирма «VFW» разработала гибкую поточную линию с ЧПУ, в которой сверление, зенкование и клепка объединены в одном клепальном автомате. Подготовительные операции рабочего процесса, выполняемые на модульной раме, загрузка автомата и сборка охвачены единой технологической цепочкой. Клепальный автомат оснащен устройством для позиционирования. За 1 мин. устанавливается 15 заклепок (1-1,5 заклепок при ручной клепке). Наличие ЧПУ обеспечивает высокую точность процесса. Линия предназначена для сборки А-300. Стоимость линии автоматизированной клепки — 200 тыс. дол.

Для изготовления панелей крыльев, оперения, люков и других деталей и узлов планера А-310 предназначено переналаживаемое сборочное оборудование, выполняющее сверление, зенкование и установку заклепок фирма «VFW» создала технологическую линию с электронным управлением, с помощью которого автоматически производится позиционирование, крепление деталей, сверление, зенкование, установка заклепок. Использование автомата позволит значительно снизить стоимость клепаных соединений аэробуса А-310.

Фирма «MB3» (Германия) совместно с фирмой «Atlas Copco» (Швеция) разработала новый тип автоматической клепальной машины —

пресс-автомат ARAS (Automato Rivtting Asdemly System). Пресс-автомат предназначен для клепки деталей с криволинейной поверхностью, которые невозможно соединить в стационарном оборудовании, например, клепку стыковых швов фюзеляжа самолетов типа аэробус. Пресс-автомат выполняет сверление отверстий в деталях из алюминиевых и титановых сплавов, установку заклепок и деталей уплотнения заклепочного шва. Такая машина малогабаритна, весит около 100 кг, может перемещаться вдоль линии сборки и устанавливаться на собираемых элементах. Она оснащена системой подвода жидкого герметика и системой выборочной подачи заклепок. Работой пресс-автомата управляет блок с ЧПУ. Система управления типа CNC обеспечивает точность позиционирования ARAS 11мкм. Производительность прессы составляет 6-7 заклепок в минуту.

### ***Ручные клепальные многоударные машины (молотки)***

При сборке узлов и агрегатов, имеющих замкнутые контуры и затрудненный доступ к местам постановки заклепок, в сборочных приспособлениях и на участках внестапельной сборки применяется многоударная клепка пневматическими молотками. При этом в общем объеме клепальных работ при производстве летательных аппаратов ударная клепка составляет от 20 до 50% в зависимости от типа объекта производства и технологичности его конструкции. Достоинством ручной ударной клепки является ее универсальность.

При ударной клепке образование замыкающей головки осуществляется за несколько десятков ударов в течение нескольких секунд со скоростью осаживания на 1-2 порядка большей, чем при прессовой клепке. Во время работы молоток сильно вибрирует, вследствие чего только высокая квалификация клепальщика, его опыт и умение «чувствовать» заклепку могут обеспечить хорошее качество клепки и высокую производительность труда. Однако работа клепальщика осложняется тем, что момент окончания клепки он вынужден определять интуитивно, на основании своего опыта, что, естественно, сказывается на качестве клепки. Немалую роль играет при этом и мастерство подручного, который во время клепки фиксирует заклепку с помощью поддержки. Характеристики ряда молотков приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные технические параметры	Единица измерения	Характеристики пневматических клепальных молотков			
		КМП-14	КМУ-13	КМП-24	КМ-42
Энергия единичного удара	кгс/м	0,25	0,18	0,5	1,3
Частота ударов	уд/мин	2500	2700	2200	1100
Расход сжатого воздуха	м <sup>3</sup> /мин	0,3	0,35	0,45	0,75
Диаметр d расклепываемой заклепки из сплава В 65	мм	4	3,5	5	8
Время расклепывания заклепок:	с				
для пакета — 1d		1,0	1,0	1,5	2,0
для пакета — 2d		1,5	2,0	2,0	3,5
для пакета — 3d		2,0	2,5	2,5	5,0
Давление сжатого воздуха	атм	5	5	5	5
Масса молотка без сменного инструмента	кг	1,3	1,5	1,6	3,1
Габаритные размеры:	мм				
длина		145	152	177	357
ширина		41	40	46	68
высота		140	90	146	140
Масса поддержки	кг	2,0	1,0	3,0	6,0

Форма и габариты поддержки определяются, с одной стороны, конструкцией собираемого изделия, диаметром и материалом заклепки, а с другой — способом клепки, прямым или обратным, в зависимости от того, с какой стороны по отношению к замыкающей головке находится клепальный молоток.

При прямой клепке поддержка удерживает закладную головку, а молоток формирует замыкающую. Заклепка в начале процесса осаживания выталкивается молотком из отверстия, поэтому для обеспечения плотного прилегания закладной головки к пакету поддержка должна быть достаточно массивной. Для выбора ее массы предлагается [3] эмпирическая формула.

$$m_n \approx 2d_3, \quad (1.7)$$

где  $m$  — масса поддержки, кг;

$d_3$  — диаметр стержня заклепки из алюминиевого сплава, мм.

При обратной клепке поддержка формирует замыкающую головку, а молоток наносит удары по закладной головке и через нее по склепываемому пакету.

При каждом ударе пакет смещается в пределах упругой деформации вместе с заклепкой, которая осаживается на поддержке, как на наковаль-

не. Поскольку смещения пакета находятся в пределах 0,1 -0,5 мм, то для оформления замыкающей головки необходимо нанести несколько десятков ударов.

Масса поддержки при этом способе клепки может быть значительно меньше, поскольку закладная головка при клепке прижимается молотком к пакету, а смещение поддержки при ударе меньше смещения пакета.

Масса поддержки для заклепок из алюминиевого сплава может быть определена из выражения

$$m_n \approx 0,5d_s. \quad (1.8)$$

Поскольку работа пневмомолотков сопровождается вибрацией и шумом, то от них по возможности стараются избавиться и заменить прессами и скобами. Вибрация, шум и охлаждение рук пневмоинструментом приводят, как упоминалось выше, к профессиональным заболеваниям, на профилактику которых затрачиваются большие средства. Поиск путей снижения объема виброопасной клепки идет в направлении разработки конструкций заклепок, не требующих ударного инструмента для их постановки, и создания новых видов переносного инструмента прессового действия, например, гидравлических клепальных устройств (ГКУ), пневматических клепальных раскатных устройств (ПКРУ) [6].

Одним из путей борьбы с профзаболеваниями клепальщиков является разработка и внедрение обладающих пониженными параметрами шума и вибрации ручных и переносных машин для одноударной клепки.

## ***2 ОДНОУДАРНАЯ (ИМПУЛЬСНАЯ) КЛЕПКА***

### **2.1 Особенности ручных машин для одноударной клепки**

В отличие от рассмотренных выше пневмомолотков, одноударные молотки образуют замыкающую головку за один удар. Таким образом, время клепки и воздействия вибрации и шума на клепальщика существенно сокращается. Перемещение обжимки при образовании замыкающей головки происходит сразу на весь путь деформирования, аналогично прессовой клепке. Очевидно, что одноударная клепка с поддержкой малопригодна для обратной клепки из-за возможности деформирования склепываемых деталей и является, по существу, исключительно прямой.

Рассмотрим подробнее основные соотношения для процессов в одноударной клепальной машине на примере машины с магнитно — импульсным приводом (рисунок 2.1) [10].

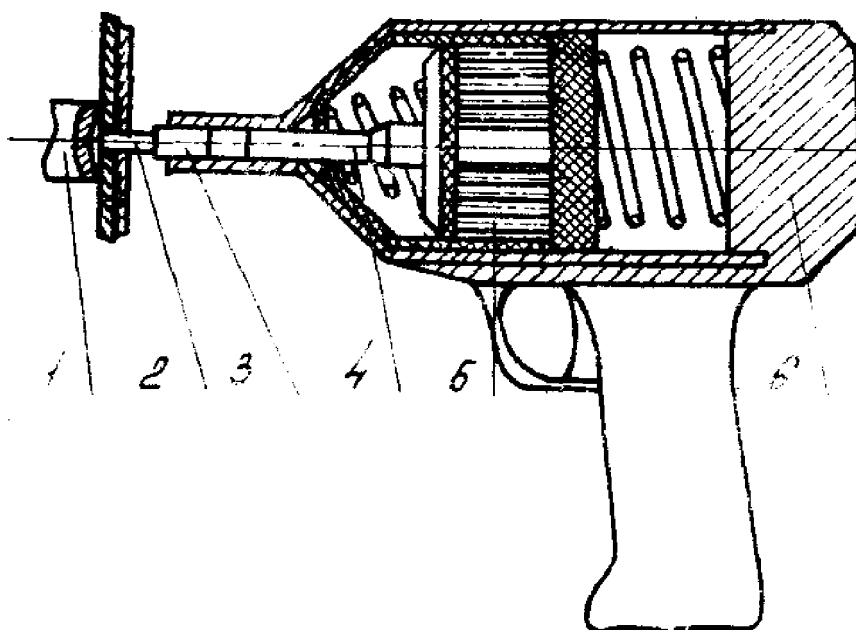


Рисунок 2.1 — Схема клепки магнитно-импульсным клепальным молотком: 1-поддержка; 2-заклепка; 3-обжимка; 4-боек; 5-индуктор; 6-корпус

Для простоты будем считать, что система гашения отдачи в инструменте отсутствует. Масса инструмента будет складываться из масс обжимки, бойка, корпуса, рукоятки, т. е.

$$m_u = m_{об} + m_{б} + m_k + m_p. \quad (2.1)$$

На поршень (боек) площадью  $S_{б}$  молотка действует сила давления энергоносителя

$$F_{эн} = P_{эн} s_{б}, \quad (2.2)$$

где  $P_{эн}$  — давление энергоносителя.

Под действием этой силы боек массой  $m_{б}$  на пути  $x_{б}$  запасает кинетическую энергию

$$W_{бк} = \frac{m_{б} v_{б}^2}{2}, \quad (2.3)$$

где  $v_{б}$  — скорость бойка в конце пути разгона.

После соударения бойка с обжимкой и заклепкой энергия удара перейдет в работу деформации заклепки и пакета:

$$A_{деф} = \int_0^{x_д} F_{деф} dx, \quad (2.4)$$

где  $F_{деф}$  – сопротивление деформации;

$x_д$  – путь деформации.

Обычно путь разгона  $x_p$  намного превышает путь деформации, при этом работа разгона

$$A_{разг} = \int_0^{x_0} F_{эн} dx \quad (2.5)$$

равняется кинетической энергии бойка  $W_{кб}$  и в первом приближении  $A_{деф}$ . Следовательно, в процессе осаживания заклепки силой давления энергоносителя на боек можно пренебречь.

В процессе разгона бойка та же сила действует и на корпус молотка  $m_k = m_u - m_b$ , вследствие чего он к концу процесса разгона на пути  $x_k$  приобретает скорость  $v_k$  и соответствующую энергию

$$W_{кк} = \frac{m_k v_k^2}{2}. \quad (2.6)$$

Полученные соотношения удобнее выразить через импульс силы и суммарную массу инструмента:

$$I = \int_0^t F_{эн} dt = F_{эн} t_{разг} \approx m_b v_b = (m_u - m_b) v_k. \quad (2.7)$$

При этом кинетическая энергия бойка

$$W_{бк} = \frac{m_b v_b^2}{2} = \frac{I^2}{2m_b}. \quad (2.8)$$

Кинетическая энергия корпуса молотка

$$W_{кк} = \frac{I^2}{2m_k} = W_{бк} \frac{m_b}{m_k}. \quad (2.9)$$

Скорость движения корпуса молотка

$$v_k = v_b \frac{m_b}{m_k}. \quad (2.10)$$

Перемещение корпуса

$$x_k = x_b \frac{m_b}{m_k}. \quad (2.11)$$

Работа энергоносителя

$$A_{эн} = F_{эн} x_p = F_{эн} x_p s_b = P_{эн} v_{эн}. \quad (2.12)$$

Рассмотрев эти выражения, можно сделать следующие выводы:

1. При неизменной скорости бойка и энергии удара энергия, переданная в боек, пропорциональна отношению масс корпуса молотка и бойка, т. е. для получения высокого энергетического КПД процесса необходимо, чтобы масса бойка была много меньше массы корпуса.

2. При неизменной энергии удара величина импульса силы и масса бойка уменьшаются с повышением скорости удара, т. е. при неизменной массе корпуса увеличение скорости удара (и соответствующее уменьшение массы бойка) позволяет уменьшить импульс отдачи.

3. Для сохранения энергии удара  $W_{бк}$  неизменной при неизменных массе и размерах бойка, требуемая скорость  $v_b$  может быть получена при тех же давлениях энергоносителя за счет большего пути разгона или при том же пути разгона бойка за счет увеличения давления энергоносителя. Следовательно, вполне возможно создание инструмента с длиной, не превышающей длины обычных многоударных молотков, за счет увеличения давления энергоносителя.

Изложенные выше принципы определяют особенности одноударной клепки, для осуществления которой скорость бойка должна измеряться десятками метров в секунду, а давление энергоносителя (пороховых газов, сжатых до высокого давления газов, электромагнитного поля высокой напряженности и т. п.) достигать 30-160 атм. Повышение скорости движения бойка при одноударной клепке приводит к качественному изменению приемов клепки. Так, при энергии в 1000 Дж, подводимой к молотку, и массе его 2-5 кг, скорости бойка 50 м/с суммарное время разгона составит  $t \approx 10^{-3} \text{ с}$  (при отношении масс  $m_k$  и  $m_b$  в пределах 10 — 20). Это время меньше времени, характерного для реакции человека, составляющего примерно 0,05 с. Это позволяет снизить требования к квалификации исполнителя, поскольку главная его задача при клепке сво-

дится к установке молотка в правильное начальное положение и подаче команды на клепку.

## **2.2 Машины и оборудование для ручной одноударной клепки**

В настоящее время известно достаточно много разнообразных конструкций одноударных машин для клепки [6, 8], из которых доведены до практического применения пневматические, пороховые, пневмогидравлические, магнитно-импульсные.

Пневматические молотки для клепки за один-два удара были созданы еще в 30-х годах, но не нашли применения из-за больших габаритов и веса, а также сильной отдачи и ряда других причин. Так, например, при эксплуатации одноударного клепального молотка 2 КМО выявились такие характерные для него недостатки, как утомительное и затруднительное для клепальщика управление молотком (необходимо было резко нажимать на пусковой курок), применение более тяжелой поддержки, нестабильность энергии ударов.

Однако продолжающийся поиск в этом направлении позволяет считать, что приемлемые для условий самолетостроительных заводов одноударные пневматические клепальные молотки будут созданы. Так, в США запатентован пневматический молоток с ресивером, позволяющий клепать за один удар [7]. В настоящее время и в нашей стране созданы сравнительно легкие молотки, которые используются для запрессовки болтов и клепки.

Пороховые молотки [8] разработаны для клепки главным образом стальных заклепок диаметром до 24 мм в холодном состоянии. Достоинствами их являются полная автономность в силу отсутствия питающей установки, шлангов, кабелей и сравнительно небольшие массы и габариты. Эти особенности наиболее ценны при работе в полевых условиях, например, в строительных работах или ремонтных. Однако шум, выхлопные газы, необходимость хранения и использования значительных количеств взрывчатых веществ затрудняют, а точнее, исключают возможность их применения в цехах машиностроительных предприятий, а тем более в цехах сборки узлов и агрегатов летательных аппаратов. Кроме того, из-за колебания массы порохового заряда ( $\pm 0,05\epsilon$ ) пороховые молотки не могут в полной мере удовлетворять самолетостроительные предприятия по стабильности энергии ударов. На предприятиях авиационной промышленности наиболее распространены заклепки небольших



диаметров (4-6 мм), для которых при одноударной клепке даже незначительные колебания энергии могут способствовать образованию соединений с контролируемыми параметрами, выходящими за пределы их поля допуска. Неудобным при эксплуатации является сложность регулирования энергии, а также образование нагара, что требует частой чистки и смазки устройства (примерно через 200 выстрелов). Поэтому большой интерес представляла разработка импульсных клепальных молотков не порохового действия, а работающих на сжатом до высокого давления газе (азота, воздуха и др.).

Пневмогидравлические молотки имеют габариты и массу, приближающиеся к параметрам многоударных пневмомолотков (таблица 2).

В качестве энергоносителя в них используется сжатый азот, а приводом служит пневмогидравлический мультипликатор, широко применяемый при механизации клепально-сборочных работ.

На рисунке 2.2 представлена одна из схем молотка. Молоток состоит из корпуса 10, ствола 6, бойка 7, обжимки 4, плавающего поршня 9, запирающего устройства 8, ресивера 12. В ресивер закачивается энергоноситель под высоким давлением ( $\sim 6 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$ ) для возврата бойка в исходное положение.

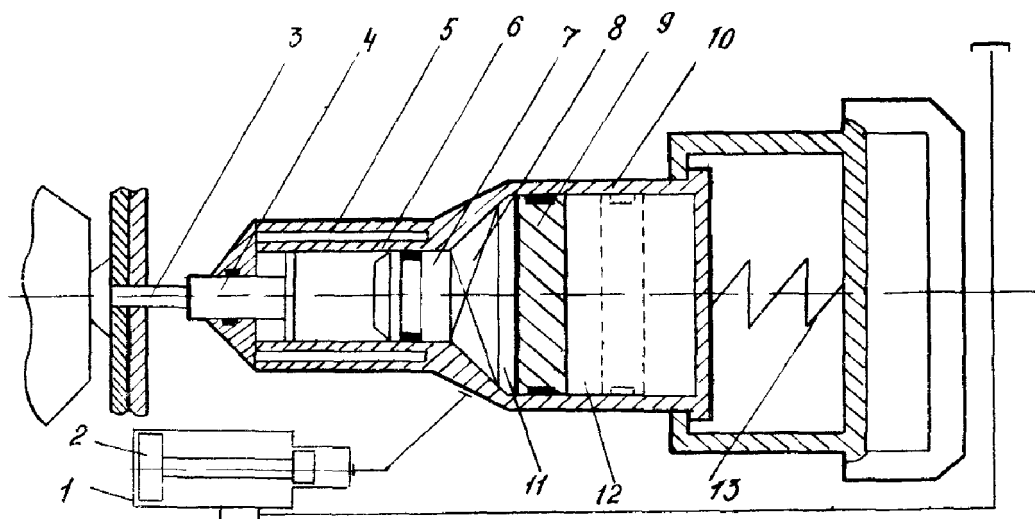


Рисунок 2.2 — Принципиальная схема пневмогидравлического клепального молотка

При подаче жидкости от привода 1 в полость молотка 11 плавающий поршень перемещается вправо и сжимает газ в ресивере 12 до более высокого давления. При достижении заданного давления запирающее устройство 8 срабатывает и жидкость, находящаяся в полости 11 под высоким давлением, воздействует на боек 7 и разгоняет его до необходимой

скорости. Плавающий поршень при этом ставится в исходное положение. Боек наносит удар по обжимке 4, которая деформирует заклепку 3. При возврате штока 2 в исходное положение давление в полости 11 падает и боек 7 под действием газа, находящегося в камере 5, возвращается в исходное положение. Молоток готов для осуществления следующего рабочего хода.

В молотках предусмотрена возможность плавной регулировки энергии удара в широких пределах. Для обеспечения допустимой величины усилия отдачи в молотке установлен амортизатор 13. Максимальное усилие прижатия молотка составляет 30-40 Н. Регулировка энергии удара производится вращением ствола. Однако применение пневмогидравлических молотков затрудняется сложностью их изготовления.

Молоток электрогидравлического действия (рисунок 2.3) работает от источника постоянного тока 10 и конденсаторной батареи 11. После включения высоковольтного контактора 12 накопленная энергия разряжается в рабочей промежутке между электродами 20. Происходит пробой жидкости в межэлектродном промежутке, в результате чего в рабочей камере 2 создается избыточное давление, которое, воздействуя на ударник 19, передается на боек 16, деформирующий заклепку 15.

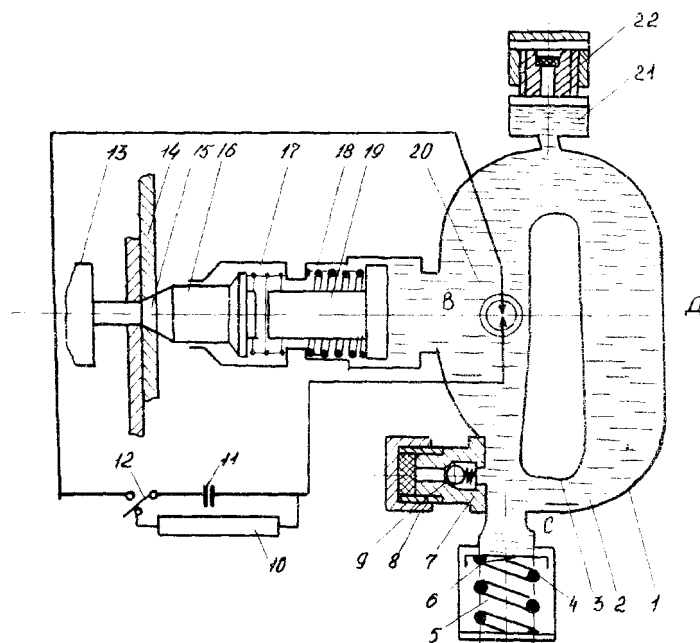


Рисунок 2.3 — Схема клепального молотка электрогидравлического действия

Энергия, выделенная в промежутке между электродами 20, сопровождается образованием первичной ударной волны и газопаровой области. Ударная волна, распространяющаяся по участку ВС — прямого действия, перемещает поршень 6, сжимая пружину 4, а ударная волна, рас-

пространяющаяся по участку ВД — огибающего действия, достигает камеры прокачки жидкости 5 через профилированный канал 3 к моменту, когда энергия ударной волны прямого действия будет воспринята пружиной 4. Поршень при обратном ходе прокачивает жидкость через участок ВС, удаляя при этом газопаровую область через камеру удаления газов 21 с крышкой 22. Ударник 19 и боек 16 под действием соответственно пружин 18 и 17 приводятся в исходное положение, после чего устройство готово к работе и происходит следующий разряд между электродами 20. Молотки этого типа не нашли применения из-за высокого напряжения питания.

Магнитно-импульсные молотки используют в качестве энергоносителя импульсное электромагнитное поле высокой напряженности.

В условиях серийного производства молотки были впервые использованы фирмой «Боинг» (США) для клепки панелей крыла самолетов Боинг-747 в тех местах, которые не могли быть проклепаны автоматами фирмы «Джемкор» [6]. Созданные для этой цели клепальные молотки обеспечили встречную клепку стержней-заклепок диаметром 9,5 мм из алюминиевого сплава. Молотки, массой более 34 кг каждый, подвешены на балансирах и располагаются по обе стороны вертикально закрепленной в стапеле панели (рисунок 2.4).

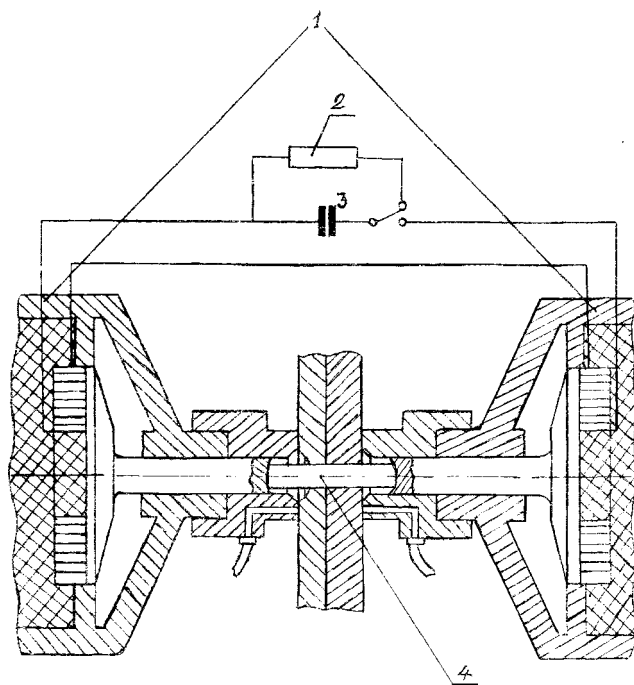


Рисунок 2.4 — Магнитно-импульсная клепка стержнями с помощью магнитно-импульсной клепальной системы, работающей по принципу, синхронизированного двустороннего обжатия стержня: 1 — клепальные молотки; 2 — источник постоянного тока; 3 — конденсаторы; 4 — стержень

Клепку производят два оператора. Соосное положение инструментов относительно друг друга и расклепываемого стержня отмечается сигналом: загоранием электролампы, расположенной на одном из инструментов.

Получив сигнал, клепальщик нажимает на кнопку, и батарея высоковольтных конденсаторов разряжается через последовательно соединенные катушки молотков. Взаимодействие полей токов в катушках и индукционных токов в прилегающих к ним бойках обуславливает возникновение между ними электродинамических сил отталкивания, деформирующих заклепку. Передача энергии к катушкам осуществляется по кабелям с малым сопротивлением.

Как видно, отличительной особенностью магнитно-импульсной клепки является возможность синхронизации двух и более молотков с точностью  $10^{-6} - 10^{-7}$  с, что позволяет найти принципиально новые пути решения проблем встречной клепки ручными молотками — клепки со сжатием пакета и др. Например, известен клепальный молоток с электромеханическим приводом малой энергоемкости (рисунок 2.5), служащий для выполнения легких работ [9].

Он имеет двигатель 1, который через редуктор 2 вращает кривошип 3. Эксцентрично расположенный палец 4 вращается в подшипнике скольжения на конце штанги 5 ударного механизма, совершающей вращательно-поступательное движение. Штанга соединяется с бойком 9. При отсутствии давления со стороны державки 10 для инструмента боек остается неподвижным.

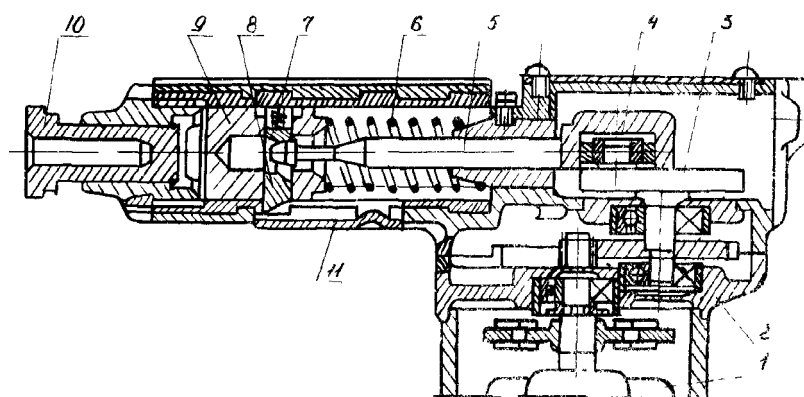


Рисунок 2.5 — Конструктивная схема клепального молотка с электромеханическим приводом

При нажиме на инструмент и небольшом отводе бойка назад защелка 8, нагруженная пружиной 7, сцепляется со штангой, которая передвигает боек назад на величину хода эксцентрика и сжимает пружину 6. В конце обратного хода защелка отсоединяется от штанги с помощью кулачка 11, при этом действие пружины вызывает удар бойка по инструменту.

### **2.3 Особенности выполнения высокоресурсных заклепочных соединений посредством одноударной (импульсной) клепки**

Установлено [8], что при импульсной клепке возникает ряд специфических явлений, определяемых кратковременностью процессов и наличием больших пластических деформаций.

Деформирование металла с высокими скоростями характеризуется значительными инерционными силами. Их возникновение объясняется изменением скоростей перемещения частиц металла, вызванным ударом обжимки. Ускорения, действующие на обрабатываемый металл, зависят от изменения скорости инструмента и положения точек в системе деформируемого тела.

В момент приложения деформирующей нагрузки силы инерции, имея противоположный знак, уменьшают действие внешней нагрузки. Энергетически это объясняется как расходование работы деформирования на преодоление работы инерционных сил, что и выражается в уменьшении очага деформации. Известно, что высокий ресурс заклепочного соединения в однородных материалах требует создания высокого и равномерного натяга или, другими словами, остаточных сжимающих напряжений в материале соединяемых деталей. Для получения высокопрочного соединения нужно обеспечить выборку технологического зазора в отверстии под заклепку и получить натяг до 4-5%. При расклепывании стержень заклепки, деформируясь, увеличивается в диаметре и вдавливаются в стенки отверстия, вызывая его радиальную деформацию и упрочнение, т. е. создает натяг, который в идеальном случае было бы желательно получить равномерным по всей толщине пакета. Обычным методом клепки пневматическим ударным инструментом стержневых заклепок этого добиться нельзя, поскольку при расклепывании стержень заклепки, деформируясь, принимает бочкообразную форму и выбирает технологический зазор между цилиндрической частью отверстия и заклепкой. Увеличение усилия приводит к заклиниванию стержня и образованию замыкающей головки. В результате под закладной головкой за-

клепки натяга может не быть вообще. Это способствует снижению выносливости соединения и его герметичности.

С целью проверки качества соединений при импульсной клепке ЦАГИ были проведены прочностные испытания образцов по стандартной программе сравнительных усталостных испытаний заклепочных соединений. Установлено, что выносливость соединений, выполненных импульсным молотком с образованием полукруглой замыкающей головки, превосходит в два раза выносливость соединений, выполненных с помощью пневмомолотка. Как известно, стеснение объема замыкающей головки способствует увеличению усилия расклепывания и натяга заклепки в пакете.

Выносливость же соединений, выполненных импульсным молотком с образованием плоской замыкающей головки, ниже, чем выносливость соединений, выполненных с помощью пневмомолотка. Обусловлено это, вероятно, более низким натягом в отверстии при импульсной клепке с образованием плоской замыкающей головки пакетов толщиной более половины диаметра заклепки.

Таким образом, импульсная клепка за счет получения высокого и равномерного натяга, равномерного и плотного прилегания закладной головки к поверхности детали и отсутствия трещинообразования обеспечивает высокое качество соединения.

Образование зазора под закладной головкой на первом этапе импульсной клепки, что характерно для прямой клепки, является положительным фактором, так как способствует увеличению равномерности натяга. Это приближает данный способ клепки по качеству к способу клепки стержнями, отличающемуся наиболее высокой равномерностью натяга.

По результатам испытаний ЦАГИ рекомендовал применять импульсные молотки взамен многоударных при клепке самолетных конструкций с образованием полукруглой замыкающей головки.

Образование незначительного зазора под закладной головкой возможно и при неподвижной поддержке (рисунок 2.6).

Обусловлено это тем, что при осадке поверхность I стержня заклепки, контактирующая с обжимкой 3, имеет равную ей скорость  $V_{обж}$ , а поверхность II, контактирующая с неподвижной поддержкой, имеет скорость, равную нулю.

Все промежуточные точки стержня имеют скорость в направлении осадки, отличную от нуля.

Следовательно, точки стержня, лежащие в плоскости III, имеют некоторую скорость, вследствие чего под закладной головкой также воз-

можно образование зазора, величину которого  $\delta_1$  можно определить из выражения

$$\delta_1 = \frac{H_1 l'_1 [L_1 (L_0 - l'_1) + (L_1 - l'_1) L_0]}{L_0 [(L_0 - l'_1)(2L_1 - l'_1) + (L_1 - l'_1) l'_1]}, \quad (2.13)$$

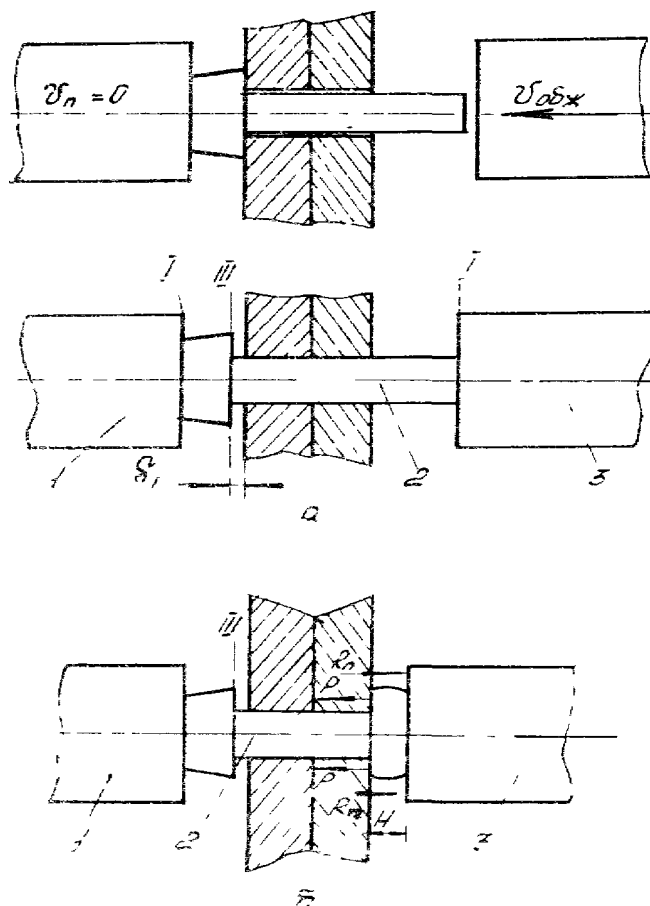


Рисунок 2.6 — Образование зазора  $\delta$  закладной головкой до появления «перехвата» (а) и во время формирования замыкающей головки (б): 1 — поддержка; 2 — заклепка; 3 — обжимка

где  $L_0$  — полная длина заклепки, включая закладную головку;

$L_1$  — путь полной осадки заклепки;

$l'_1$  — путь осадки заклепки до момента образования «перехвата»;

$H_1$  — высота закладной головки.

Величина зазора  $\delta_2$ , возникающего в случае перемещения поддержки, записывается выражением:

$$\delta_2 = \frac{(f_1 - f_0)(1 + k_1)l_0}{f_1 \left( \frac{m_n}{m_{обж}} - k_1 \right)} \quad (2.14)$$

где  $f_0$  и  $f_1$  — площади поперечного сечения стержня заклепки и отверстия, соответственно;

$l_0$  — длина стержня заклепки;

$m_n$  и  $m_{обж}$  — массы поддержки и обжимки;

$k_1$  — коэффициент восстановления при клепке.

Выражение для  $\delta_2$  получено при допущении, что

$$l_1 = \frac{f_1 - f_0}{f_1} L_0. \quad (2.15)$$

А скорость поддержки  $v_n$  может быть записана выражением

$$v_n = \frac{v_{обж} m_{обж} (1 + k_1)}{m_{обж} + m_n}, \quad (2.16)$$

где  $v_{обж}$  — скорость обжимки.

Из формул (2.14) — (2.16) видно, что величина зазора зависит от коэффициента восстановления  $k_1$  и таких технологических факторов, как первоначальный зазор между стенкой отверстия и заклепкой, а также соотношения масс поддержки и обжимки.

Рассмотрим, как происходит второй этап клепки. После образования «перехвата» замыкающая головка своими заплечиками воздействует на пакет с некоторым усилием  $P$ , а в пакете возникает усилие реакции  $R_n$  на это воздействие (рисунок 2.6 б).

В случае, когда  $P > R_n$ , пакет перемещается (прогибается) в направлении удара со скоростью большей, чем скорость перемещения закладной головки. В результате этого зазор под головкой уменьшается и в момент окончания деформирования становится равным нулю. Материал стержня, находящийся между закладной головкой и пакетом, возвращается в отверстие, вследствие чего повышается величина и равномерность натяга по толщине пакета. В рассмотренной ситуации, характеризующей податливый пакет, образование начального зазора играет положитель-



ную роль, аналогичную влиянию компенсатора в соответствующих заклепках.

Если  $P \leq R_n$ , то пакет не перемещается под действием усилия  $P$  и зазор под закладной головкой не устраняется. К концу второго этапа клепки возможно его увеличение за счет истечения материала заклепки в отверстие со стороны замыкающей головки. При этом перемещение поддержки в процессе осадки способствует увеличению зазора. Этот случай характеризует жесткий пакет и легкую поддержку.

Исследования по импульсной клепке пакетов различной жесткости позволили экспериментально установить, что податливым пакетом при импульсной клепке заклепок из сплава В65 может считаться пакет, клепка которого возможна многоударным молотком обратным методом.

Устранение зазора при клепке жестких пакетов возможно путем перемещения закладной головки заклепки в направлении пакета. Чтобы обеспечить это, предлагается для клепки жестких пакетов технология клепки их за два удара. Первый удар наносится со стороны стержня, а поддержку устанавливают на закладную головку. Второй удар с уменьшенной энергией наносится по закладной головке, а поддержку устанавливают на замыкающую головку, после чего зазор устраняется.

Как показали исследования, натяг в этом случае получается наиболее равномерным по толщине пакета, а закладная головка плотно прилегает к поверхности деталей. Хотя этот способ является более трудоемким, чем способ клепки за один удар, но он позволяет осуществить клепку жестких пакетов, что практически невозможно выполнить многоударными молотками. Поскольку зачастую соединение таких пакетов осуществляется с помощью классных болтов, трудоемкость постановки которых значительно превышает трудоемкость постановки заклепок, то замена болтов на заклепки при соединении жестких пакетов приводит к снижению стоимости, а также и веса соединения. Таким образом, при разработке технологии импульсной клепки необходимо учитывать жесткость клепаемых пакетов.

Взаимодействие обжимки с пластически деформируемым металлом стержня заклепки в течение 1-2 миллисекунд приводит к возникновению в металле инерционных сил, которые, в свою очередь, вызывают дополнительные динамические напряжения. Изменяется область, охваченная пластическими деформациями. Инерционные силы препятствуют распространению деформаций, что уменьшает или локализует зоны пластического деформирования. Это связано также с развитием тепловых эффектов, волновых явлений и некоторыми изменениями механических свойств деформированного металла.

Локализация зоны пластического деформирования объясняется прежде всего тем, что в процессе, например, высокоскоростного осаживания, скорости на различных участках пластической деформации металла различны. Максимальную кинетическую энергию накапливают объемы, расположенные в верхних периферийных точках, и значительно меньше энергии накапливается в нижних точках образца (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 — Образцы, деформированные с различными скоростями  $\varepsilon = 0,5$  /: слева направо — исходная заготовка; деформация со скоростью соответственно  $V = 0,001$  м/с;  $V = 25$  м/с;  $V = 50$  м/с;  $V = 100$  м/с

Данное обстоятельство имеет большое значение для оценки и разработки технологических процессов. Так, при пробивке отверстий оно проявляется в уменьшении пластической зоны, вследствие чего резко возрастают чистота поверхности стенок и точность пробитых отверстий, что позволяет поднять их качество до уровня качества отверстий, полученных механической обработкой.

При клепке пакетов из композиционных материалов, когда натяг в отверстиях нежелателен, локализация зоны деформации в зоне замыкающей головки открывает новые возможности как перед технологами, так и перед конструкторами. По существующей технологии клепки пакетов с композиционными материалами под замыкающую головку заклепки ставится ограничительная шайба, препятствующая образованию натяга в отверстиях, т. е. локализирующая зону деформации в зоне замыкающей головки. Эффекты высокоскоростного деформирования могут позволять отказаться от постановки шайбы и тем самым существенно снизить вес соединения и его трудоемкость.

Однако высокий ресурс заклепочного соединения в однородных материалах, как отмечалось выше, требует создания высокого и равномерного натяга. В этом случае локализация зоны деформации играет негативную роль, так как снижает уровень натяга под замыкающей головкой.

Кроме того, характерные для обычной клепки зоны интенсивной деформации в замыкающей головке в виде конических поверхностей, ограничивающих изнутри кольцевую зону относительно однородной деформации, при импульсной клепке локализуются настолько, что возникающие остаточные напряжения могут привести к отколу или растрескиванию замыкающей головки.

Во избежание этих явлений рекомендуется применять для клепки обжимки сферической формы с радиусом, равным диаметру заклепки, а также снимать фаску на кромке отверстия со стороны замыкающей головки. Первое мероприятие обеспечивает создание высокого и равномерного натяга, но требует увеличения почти вдвое усилия расклепывания [3], что не представляет сложности для молотков с такой энергооборуженностью, как импульсные. Кроме того, обжимка сферической форма упрощает клепальщику центрирование инструмента относительно заклепки.

Фаска на кромке отверстия способствует расширению зоны пластического течения металла и, как следствие, снижению уровня остаточных напряжений.

Микроструктурные исследования соединений, выполненных с фаской, показали отсутствие локализованной зоны в месте перехода стержня заклепки в замыкающую головку. Экспериментально установлено, что для заклепок из сплава В65 существует ограничение скорости деформирования из-за локализации деформации и величина  $V_{\max}$  может быть принята 25-30 м/с. При клепке с образованием полукруглой замыкающей головки выравнивание деформаций происходит и в зоне верхнего конуса скольжения. Это также способствует повышению пластичности материала заклепок и снижению трещинообразования.

Как уже отмечалось выше, импульсная клепка осуществляется исключительно по прямой схеме, что ставит определенные ограничения по ее применению в местах с затрудненным доступом в зону клепки, главным образом, при клепке потайных заклепок, там, где обычно реализуется многоударная клепка по обратной схеме. Эта проблема могла бы быть решена применением способа клепки с образованием ПЗГ. Однако для этого необходимо разработать технологию клепки по схеме ПЗГ тонких обшивок, обеспечив к тому же минимальный объем подлежащего фрезерованию припуска замыкающей головки. Для получения стабильного качества клепки необходимо также полностью исключить основной вид брака при клепке по схеме ПЗГ — «завал» стержня.

Рассмотрим вариант решения этой проблемы применительно к клепке податливого пакета. Для ликвидации «завала» стержня и обеспечения

центровки обжимки по оси заклепки можно предложить комбинированную обжимку [11]. Она охватывает выступающую часть стержня заклепки по посадке движения, а осаживание ее производится путем выдавливания металла пуансоном в кольцевой зазор между поверхностью пакета и торцом контейнера вплоть до образования замыкающей головки, как это показано на рисунке 2.8.

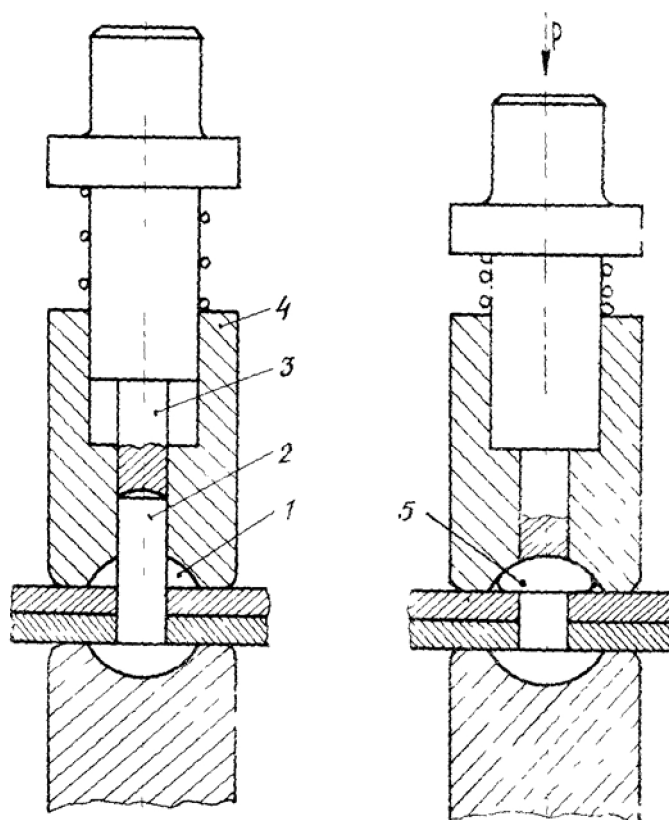


Рисунок 2.8 — Комбинированная обжимка для клепки «выдавливанием»: 1 — полость для образования замыкающей головки; 2 — стержень заклепки; 3 — пуансон; 4 — прижим-контейнер; 5 — замыкающая головка заклепки

По сравнению с наиболее часто применяемыми заклепками типа ЗУ и ЗУК (рисунок 2.9), она имеет уменьшенную головку как по диаметру, так и по высоте. Применительно к клепке с образованием ПЗГ это будет означать (рисунок 2.10) уменьшение объема замыкающей головки, что позволит: уменьшить величину припуска, так как для заполнения лунки меньшего размера требуется припуск меньшей высоты; уменьшить усилие и энергию расклепывания и устранить коробление пакета.

Некоторое снижение прочности соединения на отрыв в большинстве случаев не оказывает существенного влияния на его эксплуатационные характеристики, так как заклепочные соединения работают исключительно на срез и смятие, а предложенное решение улучшает эти показатели за счет увеличения длины цилиндрического участка отверстия.

Таким образом, предложенные решения полностью удовлетворяют выдвинутым требованиям.

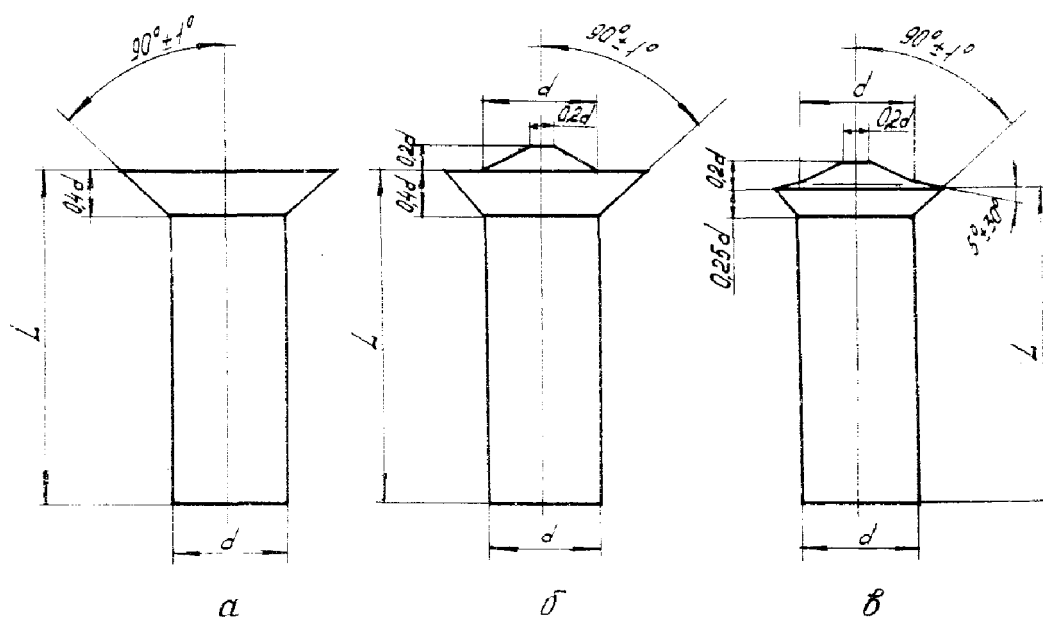


Рисунок 2.9 — Заклепки с потайной головкой:  
а — ЗУ; б — ЗУК; в — ЗУКМ

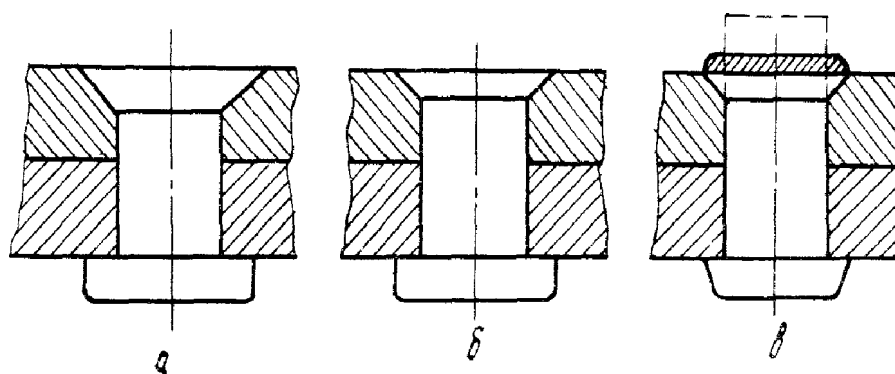


Рисунок 2.10 — Типы соединений, образованные: традиционным методом заклепками типа ЗУК (а) и ЗУКМ (б), методом ПЗГ заклепкой ЗП в лунку, зенкованную по нормали ЗУКМ (в)

Однако можно их несколько улучшить с целью дальнейшего снижения длины заклепки и трудоемкости фрезерования припуска ПЗГ. Для этого увеличим ход пуансона таким образом, чтобы он выдавливал углубление в припуске ПЗГ. Торец пуансона должен при этом останавливаться, не доходя до плоскости пакета для того, чтобы после фрезерования гарантировать превышение головки заклепки над поверхностью пакета в соответствии с требованиями производственной инструкции. Данное усовершенствование одновременно позволит еще более снизить уровень энергии, необходимой для клепки за счет уменьшения объема деформированного металла заклепки. В качестве примера рассмотрим соединение в конструкции балки, образованное листом толщиной 5 мм из сплава Д16АТ, элементом каркаса с толщиной стенки 5 мм из сплава АК-4 и заклепкой типа ЗВУ (рисунок 2.11) [10].

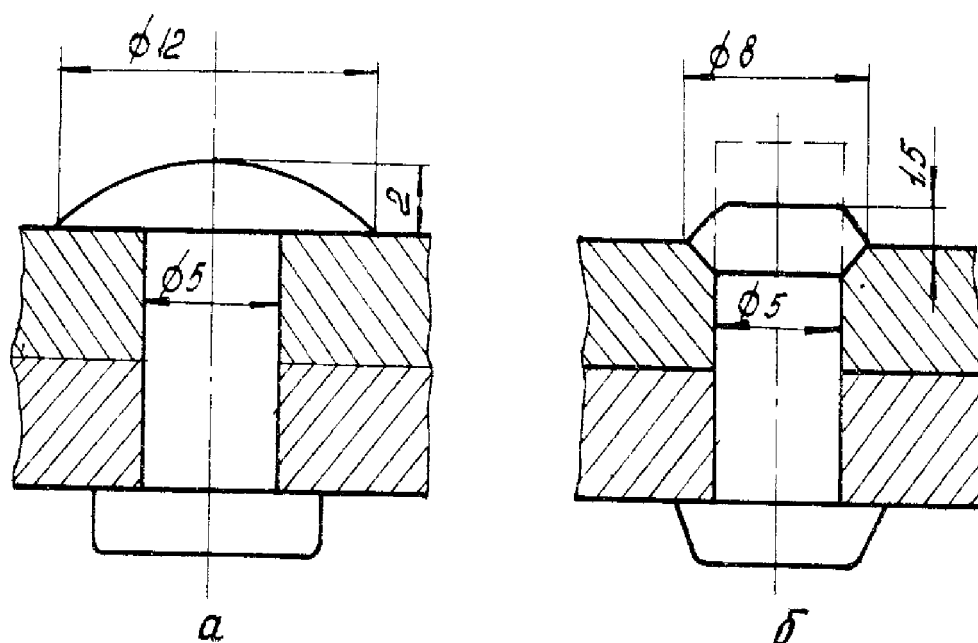


Рисунок 2.11 — Конструкции заклепочных соединений, выполненных: а — заклепкой ЗВУ по существующей технологии; б — заклепкой ЗП по предлагаемой технологии

Для обеспечения возможности применения импульсной клепки может быть предложена новая конструкция соединения с полупотайной замыкающей головкой, образуемой из стержня заклепки типа ЗП. Качество соединения можно характеризовать прочностью на отрыв и натягом. Натяг в соединении, полученном по действующей технологии с помощью многоударной ручной клепки по обратной схеме, имеет большую нерав-

номерность по толщине пакета и практически отсутствует под закладной головкой (рисунок 2.12).

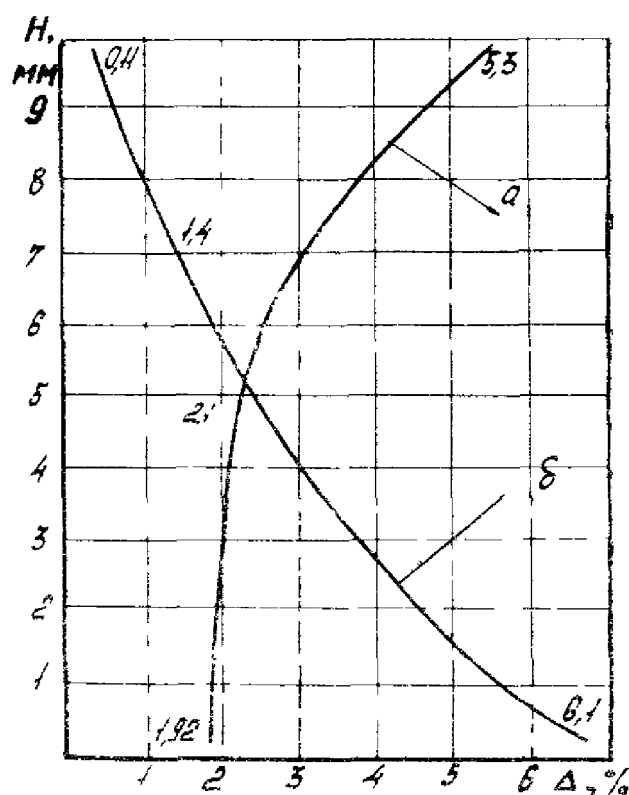


Рисунок 2.12 — Сравнительное распределение натяга  $\Delta$  по толщине пакета  $H$ : а — магнитно-импульсная клепка по схеме рисунка 2.12б; б — клепка пневмомолотками по схеме рисунка 2.12а.

В соединении же, полученном по предложенной технологии, натяг имеется по всему пакету и достигает 2% под закладной головкой.

Учитывая тот факт, что заклепка клепалась в толстом пакете, толщина которого равнялась двум диаметрам, можно считать, что предложенная технология позволяет избежать еще одного недостатка, свойственного способу клепки с образованием ПЗГ.

Таким недостатком является низкий натяг под закладной головкой, приводящий в эксплуатации к появлению усталостной трещины со стороны набора. Трещина в наборе гораздо более опасна, чем в обшивке, а главное, ее очень трудно обнаружить из-за сложности осмотра конструкции изнутри. Это явилось одной из главных причин, которые не позволили широко применить клепку с образованием ПЗГ в самолетостроении.

### ***3 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНО- КЛЕПАЛЬНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНЫХ КЛЕПАЛЬНЫХ МАШИН***

#### **3.1 Общая характеристика направлений**

Решение проблем автоматизации конкретных производственных процессов во многом зависит от общего уровня техники, технологии и средств производства. Поэтому достижения в таких областях, как применение станков с ЧПУ и обрабатывающих центров, развитие робототехники и расширение ассортимента вычислительной техники и систем управления, не связанных напрямую с клепально-сборочным производством, могут послужить основой для его дальнейшего развития. Вместе с тем необходимо учитывать, что эти достижения, как правило, обусловлены решением задач общемашиностроительного характера и не могут быть чисто механически перенесены в специфические условия клепально-сборочного производства, что при постоянном ужесточении требований к качеству авиационной техники и улучшению условий труда определяет высокую интенсивность работ, направленных на его автоматизацию.

В настоящее время в проведении этих работ существует два подхода, один из которых предусматривает частичную, а другой — комплексную автоматизацию.

В соответствии с концепцией частичной автоматизации клепально-сборочных работ предусматривается совершенствование оборудования, предназначенного для доклепывания предварительно собранных узлов, при этом собственно процесс сборки и средства его технологического оснащения автоматизации не подлежат. Варианты реализации этого подхода различаются местом, где осуществляется доклепывание. В одних случаях — это непосредственно сборочные приспособления, в других — специальные доработочные рабочие места.

Достоинством такого подхода является относительная простота оборудования, однако клепально-сборочное производство по-прежнему остается чрезвычайно немобильным, трудоемким, преимущественно ручным, требующим дорогостоящей и длительной технологической подготовки.

При альтернативном подходе процесс изготовления клепаной конструкции рассматривается как единый объект комплексной автоматиза-



ции. Особенностью этого подхода является отказ от специальных сборочных приспособлений (т. е. приспособлений для сборки только одного конкретного узла). Весь процесс сборки и клепки предусматривается осуществлять на универсальном оборудовании (по аналогии со станками с ЧПУ), при этом детали или устанавливаются и удерживаются в сборочном положении роботами-манипуляторами, или вручную устанавливаются на переналаживаемый системой ЧПУ универсальный стол — сборочное приспособление.

К достоинствам этого подхода следует отнести высокие производительность, мобильность и гибкость производства, однако его реализация сопряжена с необходимостью решения сложных технических задач.

Необходимо отметить, что оба подхода не исключают использования клепального оборудования на базе прессового принципа. Однако импульсные клепальные автоматы, обладающие высокими энергетическими возможностями, малой массой и, в силу этих обстоятельств, широкими возможностями встраивания по модульному принципу, открывают более широкие перспективы. Кроме того, помимо варианта размещения рабочих головок на скобе, без которой автомат прессового типа работать не может, возможен вариант отдельного манипулирования ими с помощью двух роботов, управляемых от одной системы с ЧПУ.

### **3.2 Доработочные автоматизированные рабочие места**

Возможность использования доработочных рабочих мест связана с особенностями конструкции и технологии изготовления клепаных сборочных единиц. Необходимость обеспечения точности обводов сборочной единицы, правильное взаимное расположение нежестких деталей в совокупности с принятой в производстве летательных аппаратов системой увязки геометрических форм и размеров, требует использования сборочных приспособлений, в которых осуществляется процесс сборки.

Выбор количества и типа крепежа определяется при проектировании клепаной конструкции исходя из эксплуатационных нагрузок, которых в производстве она не испытывает. Поэтому в большинстве случаев достаточно выполнить 5 — 15% соединений, чтобы конструкция приобрела жесткость, достаточную для сохранения своих форм и размеров без помощи сборочного приспособления.

Таким образом, конструкция с частично установленным крепежом может быть вынута из сборочного приспособления и перенесена на до-

рабочее место, а в освобожденном приспособлении можно собирать следующую сборочную единицу, что является несомненным преимуществом в условиях больших программ выпуска изделий. Использование доработочных рабочих мест не требует изменения конструкции сборочных приспособлений и технологического процесса сборки по сравнению с ручным вариантом.

Импульсные клепальные автоматы в доработочных автоматизированных рабочих местах (ДАРМ) могут использоваться по тем же схемам, что и автоматы прессового типа. В этом случае ДАРМ будет обладать большей производительностью, поскольку малая масса автомата позволяет осуществлять его перемещение с большими скоростями без перегрузки приводов. Однако малые габариты и масса импульсных автоматов позволяют реализовать и другие, невозможные для автоматов прессового типа схемы.

Одной из основных особенностей ДАРМ с импульсными автоматами, отличающей их от ДАРМ с автоматами прессового типа, является возможность осуществления более простого принципа управления перемещениями автомата вдоль элементов каркаса клепаных конструкций. Если для ДАРМ с автоматами прессового типа характерно наличие систем обеспечения переключений, управляющих приводами перемещения автоматов по сигналам датчиков, то в ДАРМ с импульсными автоматами отслеживание переключений может осуществляться за счет силового взаимодействия головок автоматов непосредственно с каркасом клепаной конструкции. Более того, малая масса автомата при его свободной подвеске позволяет осуществлять перемещение вдоль швов клепаемой конструкции путем передачи усилий разгона и торможения непосредственно на клепаемую конструкцию.

В качестве примеров рассмотрим ДАРМ для клепки сферических (ДАРМ-КС) и цилиндрических конструкций (ДАРМ-КЦ) [13].

ДАРМ-КС (рисунок 3.1) предназначено для доклепывания предварительно собранных конструкций, имеющих вид шарового сегмента с двумя стыковыми фланцами, один из которых является базовым.

Фланцы могут быть наклонены друг к другу, центр сферической поверхности находится между фланцами. Конструкция имеет обшивку, состоящую из нескольких соединенных стыковыми профилями секций, а также силовой набор, состоящий из шпангоутов уголкового и таврового сечения, плоскости которых расположены под различными углами к плоскости базового фланца.

В состав ДАРМ-КС входят: импульсный клепальный автомат 2, имеющий вид скобы с расположенными на ее консолях рабочими головками; позиционер 3, представляющий собой шарнирно установленную на

стойке 4 статически уравновешенную траверсу, на конце которой закрепляется скоба; стойка 4, имеющая устройство регулирования высоты шарнира траверсы для обеспечения его совпадения с центром сферической поверхности объекта клепки; стол 5 для крепления объекта клепки базовым фланцем к своей горизонтальной поверхности при обязательном условии совмещения центра сферической поверхности объекта клепки с вертикальной осью стола; энергоблок 6 питания силовых головок.

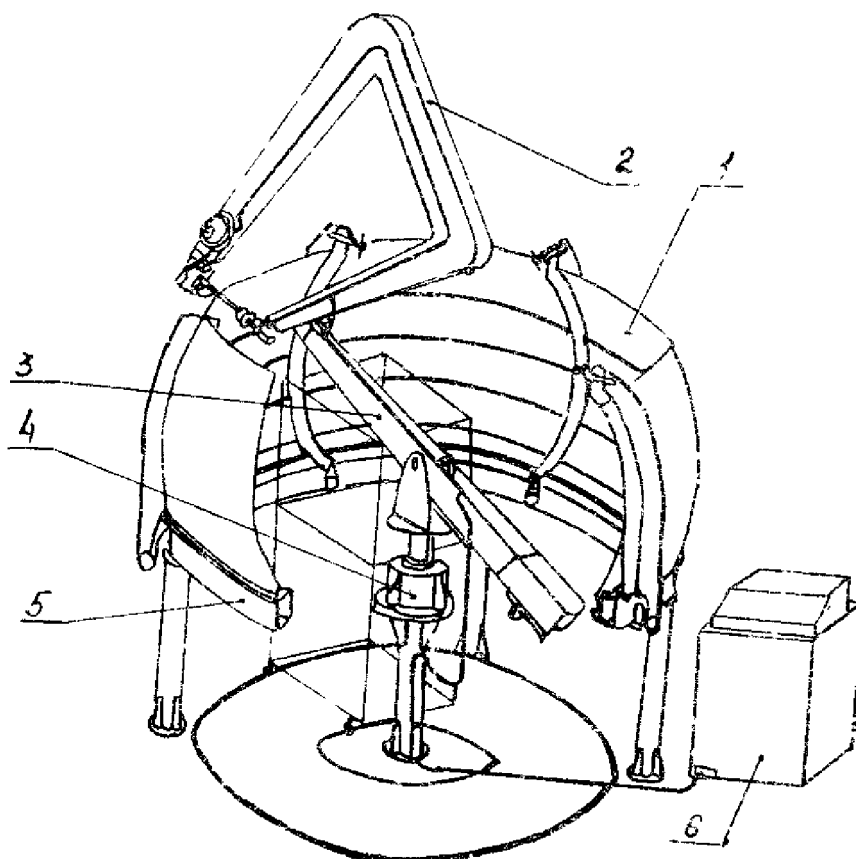


Рисунок 3.1 — Схема доработочного автоматизированного рабочего места для доклепывания конструкций со сферическими обводами (ДАРМ-КС): 1 — сферическая клепаная конструкция, 2 — импульсный клепальный автомат, 3 — позиционер, 4 — стойка, 5 — стол, 6 — энергоблок

ДАРМ-КС функционирует в полуавтоматическом режиме с участием оператора, который во время клепки находится внутри конструкции объекта клепки, вручную перемещая позиционер с автоматом и подавая команду на срабатывание автомата. Для облегчения вывода автомата в места выполнения соединений рабочая головка, находящаяся со стороны

каркаса, снабжена копирувальным щупом-вилкой с регулируемым относительно оси рабочей головки положением.

Процесс клепки осуществляется следующим образом: оператор накидывает щуп — вилку 3 на свободную полку профиля 4 и регулирует положение оси рабочей головки 1 относительно щупа (рисунок 3.2), задавая тем самым величину перемычки от края отверстия под заклепку до края привалочной полки профиля.

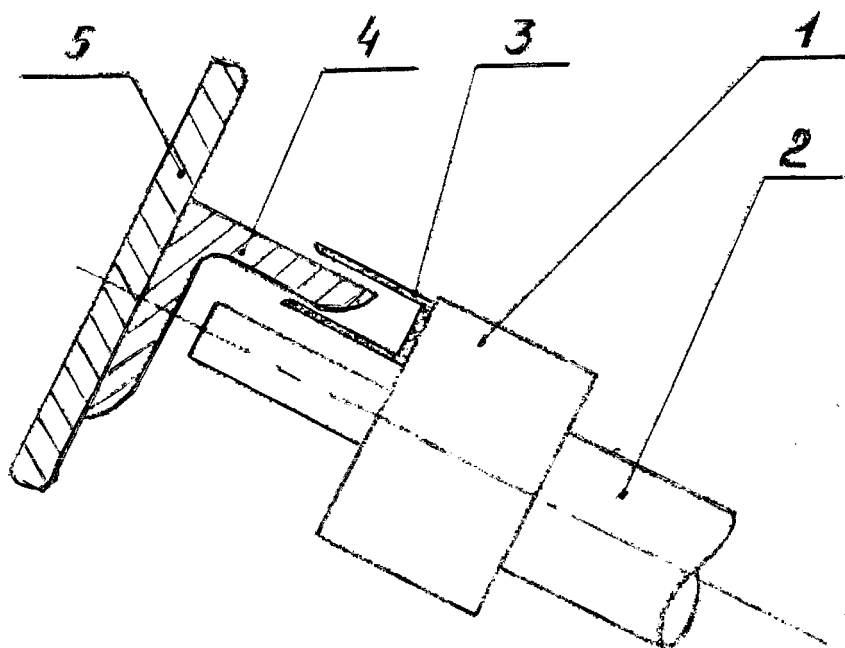


Рисунок 3.2 — Схема обеспечения перемычки от края отверстия до края детали в ДАРМ-КС: 1 — рабочая головка импульсного клепального автомата; 2 — позиционер; 3 — щуп-вилка; 4 — профиль; 5 — обшивка

После такой регулировки автомат имеет возможность перемещаться только вдоль профиля, отслеживая все особенности его формы и положения в пространстве путем покачивания и поворота траверсы 2 в сферическом шарнире.

При относительно нежестких требованиях к точности шага заклепок в шве перемещение автомата вдоль профиля может осуществлять оператор, а для повышения стабильности шага следует использовать механизм, «шагающий» по профилю рядом со щупом-вилкой и подтягивающий автомат от одного места выполнения соединения к другому.

ДАРМ-КЦ (рисунок 3.3) предназначено для доклепывания предварительно собранных цилиндрических конструкций, имеющих обшивку и

силовой набор, состоящий из шпангоутов и стрингеров уголкового, таврового и зетобразного сечения.

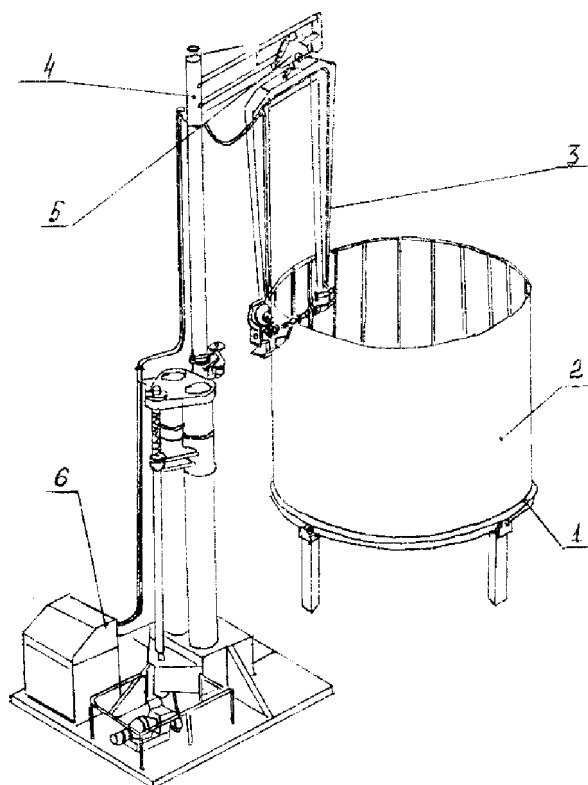


Рисунок 3.3 — Схема доработочного автоматического рабочего места для доклепывания цилиндрических конструкций (ДАРМ-КЦ): 1 — поворотный стол; 2 — цилиндрическая клепаная конструкция; 3 — импульсный клепальный автомат; 4 — позиционер; 5 — узел подвески; 6 — пульт управления

В состав ДАРМ-КЦ входят: поворотный стол 1, предназначенный для базирования объектов клепки 2 по базовой плоскости торцевого шпангоута с обеспечением соосности вертикальной оси вращения стола 1 и оси объекта клепки 2 при вращении объекта клепки 2 вокруг его оси с фиксацией в любом положении и возможностью поворота на фиксированный шаг, а также для обеспечения вертикальности образующих цилиндрических поверхностей объектов клепки; импульсный клепальный автомат 3, подвешенный за скобу рабочими головками вниз, причем ось рабочих головок автомата занимает горизонтальное положение, а перпендикулярная к ней ось скобы, лежащая в ее плоскости и проходящая через центр масс и точку подвеса, — вертикальное; позиционер 4, удерживающий скобу в подвешенном положении, может осуществлять вертикальные перемещения узла подвески автомата, а также отвод его в сторону; узел подвески 5 автомата 3, обеспечивающий качание скобы

относительно вертикального уравновешенного положения в любом направлении.

Процесс клепки осуществляется следующим образом. Базирование объекта клепки 2 на поворотном столе 1 производится при отведенном в сторону автомате 3 для исключения взаимных повреждений. Затем автомат 3 выводят в положение, при котором ось его рабочих головок проходит через ось поворотного стола 1, причем во избежание удара по объекту клепки 2 автомат 3 поднимают в верхнее положение. При опускании автомата 3 погрешности диаметров объектов 2, а также несоосная установка на поворотный стол 1 компенсируются качанием автомата 3 в узле подвески 5. Оператор с помощью пульта управления приводит всю систему в исходное положение, при котором ось автомата 3 совмещается с осью первого будущего заклепочного соединения. При этом производится вращение стола 1 и вертикальные перемещения автомата 3. Затем осуществляется клепка по программе, причем отклонения плоскостей шпангоутов не отслеживаются, а отслеживание положения стрингеров осуществляется по принципу, описанному ранее.

Рассмотренные ДАРМ-КС и ДАРМ-КЦ являются примерами специализированных устройств, предназначенных для доклепывания однотипных конструкций, что не всегда выгодно при небольших программах выпуска изделий. Более высокий уровень универсальности может быть обеспечен при использовании промышленных роботов (рисунок 3.4)[17].

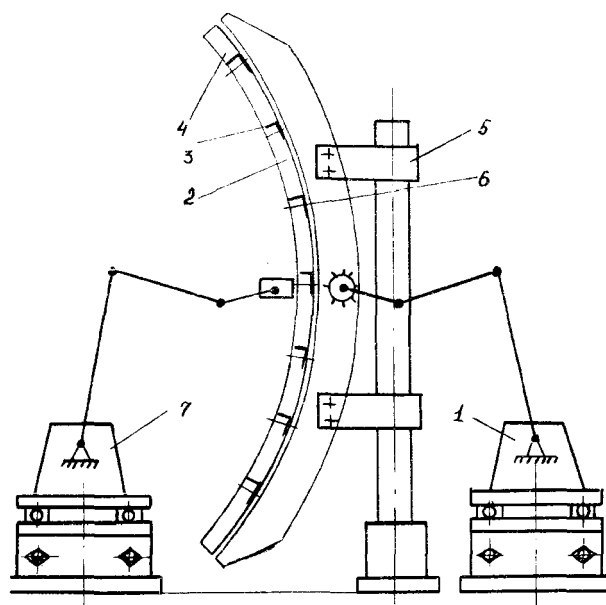


Рисунок 3.4 — Схема клепки панели двумя роботами:  
1 — робот с многоинструментальной головкой; 2 — обшивка;  
3 — стрингер; 4 — шпангоут; 5 — устройство базирования  
объекта клепки; 6 — заклепка; 7 — робот с поддержкой

Преимуществами таких ДАРМ являются высокие универсальность, мобильность и производительность, однако резкое усложнение задач управления в условиях наличия погрешностей форм и расположения деталей может оказаться серьезным препятствием на пути использования промышленных роботов при клепке. Наиболее перспективными направлениями развития ДАРМ этого типа являются повышение точности сборки и усложнение функций систем управления.

### **3.3 Встраивание импульсных клепальных автоматов в сборочные приспособления**

Малая масса и габариты импульсных клепальных автоматов обеспечивают им широкие возможности компоновки рабочих мест по модульному принципу, что и было показано на нескольких примерах ДАРМ. Однако во многих случаях требования экономической эффективности производства не позволяют пойти на выделение дополнительных производственных площадей, а высокая производительность автоматов приводит к относительному уменьшению цикла клепки по сравнению с циклом сборки, что делает целесообразным рассмотрение вопроса о встраивании автоматов непосредственно в сборочные приспособления. Тем более, что принципиальных технических отличий по использованию автоматов в ДАРМ и в приспособлениях нет, лишь к сборочным приспособлениям, помимо обычных требований, предъявляется еще ряд дополнительных:

— сборочные приспособления должны обеспечивать доступ автомату к возможно большему количеству заклепочных соединений;

— сборочные приспособления должны иметь устройства для базирования и перемещения автомата в их системе координат.

В качестве примеров встраивания можно рассматривать схемы (рисунки 3.1 и 3.4), считая, что устройства базирования объектов клепки заменены сборочными приспособлениями.

Необходимо учитывать, что эффективность использования встраиваемых автоматов обуславливается рядом необходимых организационно-технических мероприятий:

— размещение сборочных приспособлений и устройств перемещения автоматов должны обеспечивать переход автомата от одного приспособления к другому;

— увязка технологических процессов сборки по времени в нескольких сборочных приспособлениях должна обеспечивать равномерную загрузку автоматов;

— обеспечение процесса сборки комплектующими должно исключать сбой в ритме процесса сборки;

— должно быть организовано централизованное обеспечение клепальных автоматов сменными инструментами.

Одним из наиболее сложных вопросов при встраивании автоматов в приспособления является неизбежное наличие зон, закрытых элементами сборочного приспособления. Решение этого вопроса в каждом конкретном случае должно осуществляться с учетом требований к качеству изделий и производительности труда. Возможными вариантами можно считать:

— ручное доклепывание, если требования к качеству допускают использование ручной клепки, которая, как правило, обеспечивает соединениям меньший уровень долговечности и герметичности;

— усложнение сборочных приспособлений за счет использования убирающихся из зоны клепки элементов;

— использование возможностей перемещения объекта сборки относительно приспособления для вывода непроклепанных мест из закрытых элементами приспособления зон.

От того, насколько удачно будет выбрано техническое решение, зависит реализация основного преимущества встраивания автоматов по сравнению с ДАРМ — возможность стопроцентной автоматической клепки.

### **3.3 Гибкие клепально-сборочные системы**

Как известно, клепально-сборочное производство, являясь частью всего процесса изготовления летательных аппаратов, в свою очередь, подразделяется на три этапа: узловую, агрегатную и общую сборку. Несмотря на специфические особенности этих этапов, все они отличаются большой трудоемкостью, что в значительной степени определяет высокую себестоимость изделий и делает их заманчивыми объектами для комплексной автоматизации. Однако наиболее перспективной считается автоматизация узловой сборки в силу относительной простоты конструкции узлов и меньшего разнообразия используемых технологических приемов.



Отдельные группы узлов летательных аппаратов (панели, шпангоуты, лонжероны, нервюры и т. д.) обладают высокой общностью, поскольку входящие в них детали, несмотря на различия в формах и размерах, имеют сходные конструктивные элементы и одинаковым образом соединены между собой. Технологические процессы изготовления таких узлов сходны между собой, различаясь качественно лишь порядком выполнения отдельных операций и количественно их повторяемостью. Указанные особенности технологических процессов позволяют относить их к групповым (т. е. к технологическим процессам изготовления изделий, обладающих разными конструктивными, но общими технологическими признаками).

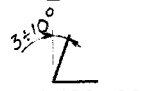
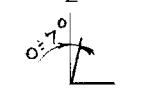
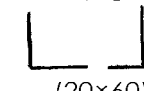
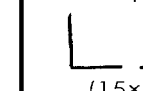

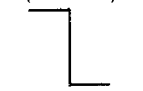
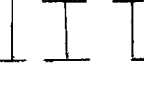

Анализируя современные тенденции в машиностроении, можно убедиться, что основные надежды по обеспечению производительности, уменьшению сроков подготовки производства и снижению себестоимости в мелкосерийных многономенклатурных производствах, к которым относятся и клепально-сборочное производство, возлагаются на гибкие производственные системы (ГПС). Основой ГПС является групповой метод организации технологических процессов и универсальное оборудование с числовым программным управлением от ЭВМ. А поскольку технологические процессы изготовления некоторых групп узлов являются по сути дела групповыми, то задача их автоматизации сводится к созданию оборудования, реализующего эти процессы по типу ГПС в механической обработке. Причем процессы выполнения соединений должны рассматриваться как элементы комплексно-автоматизированного технологического процесса сборки. Соответственно, клепальные автоматы должны являться составными частями указанного оборудования [16].

Используемое в настоящее время автоматическое оборудование, независимо от его назначения, создается для реализации специально под него разрабатываемых технологических процессов, которые в соответствии с принципом вариантности могут существенным образом отличаться даже применительно к одному изделию. Поэтому автоматизация процессов сборки узлов летательных аппаратов должна начинаться с переосмысления имеющихся теоретических положений и практического опыта, ориентированных на ручное производство. Так, например, из используемых в ручном производстве методов сборки без приспособлений: по базовой детали, по сборочным отверстиям и по разметке — для автоматизации годны лишь первые два. Следует отметить, что работы в этом направлении ведутся достаточно интенсивно, однако до настоящего времени цельной стройной концепции гибких клепально-сборочных систем не разработано.

В связи с этим рассмотрим общие подходы на примере плоских каркасных узлов самолетов (таблица 3).

Плоские каркасные узлы (лонжероны, нервюры и т. п.) обладают общностью номенклатуры входящих в них деталей: обводообразующих поясов, стенок, подкрепляющих стоек, которые, несмотря на различия (в габаритах и толщинах стенок, формах и размерах поперечных сечений поясов, конфигурациях, размерах и формах сечений стоек), имеют некоторые конструктивно схожие элементы:

Таблица 3

Наименование	Нервюры			
	Килья	Стабилизатора	Центроплана	ОЧК
Габариты, мм	(360÷1340)× (222÷35)	(660÷1550)× (63÷315)	(1100÷2500)× (400÷1200)	(950÷1114)× (60÷330)
Толщина стенки, мм	1	1	0,8÷3,5	0,8÷1,5
Состав стенки, шт.	2	2	1÷3	1
Профили поясов и их габариты, мм	 (20×15); (20×20)	 (20×20)	 (20×60)	 (15×40)
Профили стоек и их габариты, мм	 (20×20)	 (15×20)	 (18×50)(18×30)	 (15×30)(15×20)
Кол-во стоек на один лонжерон, шт.	4÷14	6÷14	8÷12	5÷7
Другие элементы	Есть	Есть	Есть	Есть
Тип, и кол-во заклепок на машину, шт.	ЗП:702+1233+ 112	ЗК:2911 ЗП:97+1341+ 385+84	ЗП:401+10628+ 4432+9 ЗУ:19+48	ЗП:5684+4528+ 448 ЗУ:272+40
Трудоемкость клепки, н-ч	23	28	204	124

— плоские поверхности стенок;

— плоскую полку обводообразующего пояса, предназначенную для соединения со стенкой;

— полки подкрепляющих стоек с привалочной поверхностью (плоской или подсеченной) для соединения со стенкой и поясами, а также как минимум одну свободную полку, перпендикулярную или наклонную к привалочной.

В самолетостроении для сборки таких узлов используются два метода: сборка по сборочным отверстиям (рисунок 3.5) и сборка в приспособлениях, каждому из которых соответствует свой технологический процесс, рассматриваемый в качестве основы для автоматизации.

При сборке по сборочным отверстиям на стенке, на плоских полках поясов и привалочных полках стоек заранее предусмотрены отверстия,

которые должны быть совмещены для достижения правильного взаимного расположения деталей узла (рисунок 3.5).

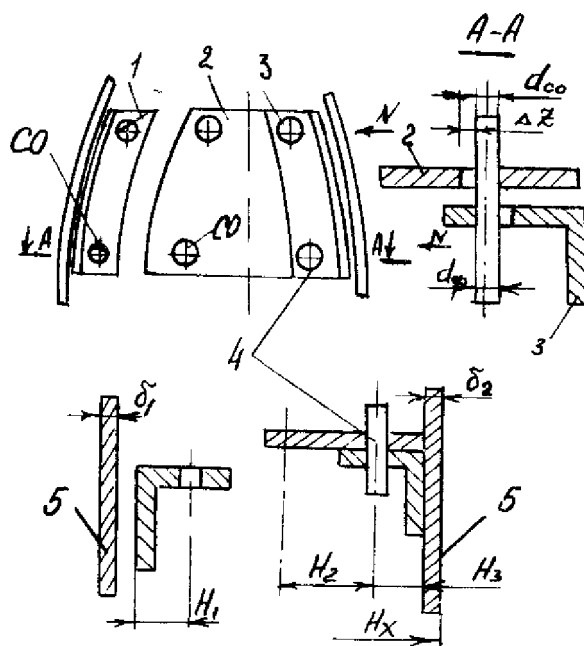


Рисунок 3.5 — Сборка плоского каркасного узла по сборочным отверстиям: 1,3 — профили; 2 — стенка; 4 — фиксатор; 5 — обшивка

Возложив функции такого совмещения на робота, можно достигнуть необходимой гибкости и производительности. Необходимо, однако, отметить, что поиск отверстия с заранее неизвестными координатами — задача технически очень сложная, несмотря на кажущуюся простоту процесса, реализация его требует очень дорогостоящих систем, вплоть до технического зрения. Переход же к предварительному ориентированию деталей с координацией по сборочным отверстиям несколько снижает гибкость процесса.

Технологический процесс сборки плоских каркасных узлов в приспособлениях содержит операции установки и фиксации обводообразующих поясов и стенок, установки подкрепляющих стоек, а также выполнения клепочных соединений. Постановка задачи о реализации этого процесса в автоматизированном варианте для некоторой группы узлов предполагает создание комплекса, реализующего весь процесс, на одном рабочем месте, поскольку транспортировка деталей, имеющих малую жесткость, затруднительна. Комплекс должен включать в себя:

— клепальный автомат для выполнения всех без исключения клепочных соединений;

- приспособление для базирования деталей узлов в сборочных положениях;
- устройства автоматической подачи деталей в приспособление;
- устройства автоматической установки деталей, для которых в приспособлении фиксаторы не предусмотрены;
- устройства автоматической выгрузки готовых узлов;
- систему питания автомата заклепками;
- систему ЧПУ перемещениями автомата и переналадкой сборочного приспособления.

Вполне очевидно, что экономическая эффективность такого комплекса, имеющего возможность многосменного функционирования, может быть обеспечена только при условиях его высокой производительности и универсальности, обеспечивающих программу выпуска групп узлов независимо от их принадлежности к освоенному или вновь запускаемому в производство изделию.

Указанные условия предъявляют ряд специфических требований к входящим в комплекс элементам и требуют тщательного распределения их традиционных и новых функций.

В качестве примера рассмотрим один из возможных вариантов комплекса (рисунок 3.6), реализующего следующие принципы:

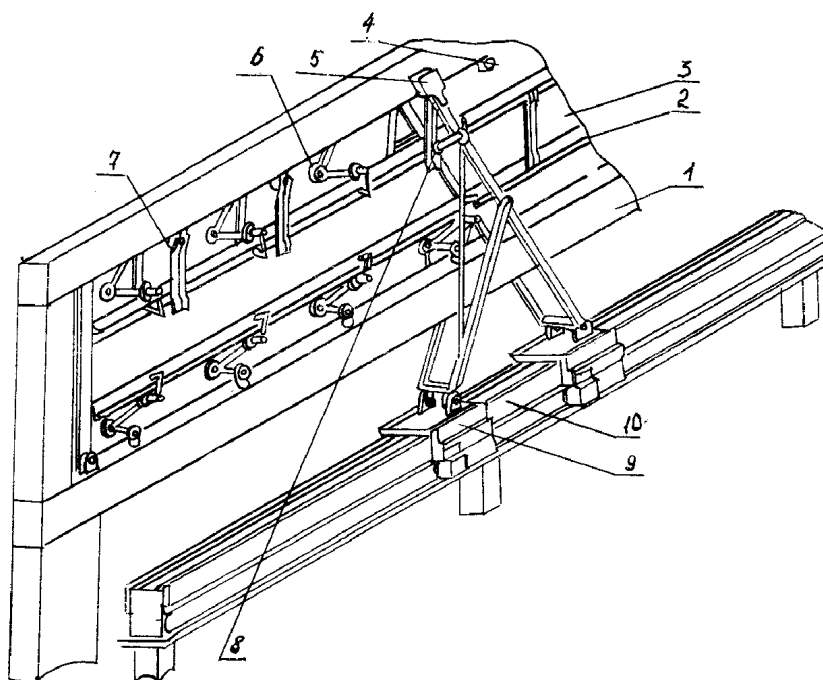


Рисунок 3.6 — Общий вид гибкого клепально-сборочного комплекса по изготовлению плоских каркасных узлов: 1 — сборочное приспособление; 2 — пояс лонжерона; 3 — стенка; 4 — штыри для предварительного базирования стоек; 5 — импульсный клепальный автомат; 6 — ложемент сборочного приспособления; 7 — стойка; 8 — схват; 9 — ползуны системы позиционирования автомата; 10 — направляющие

1. Сборочное приспособление предназначено для удержания в сборочном положении только обводообразующих поясов и стенок, которые устанавливаются вручную, а также для предварительного базирования подкрепляющих стоек.

2. Функции переноса подкрепляющих стоек из положения предварительного базирования в сборочное положение, а также переналадки сборочного приспособления возложены на клепальный автомат, оснащенный специальным схватом, и систему ЧПУ перемещениями автомата.

3. Заклепки подаются к автомату по трубопроводу от специального блока по команде системы ЧПУ в соответствии с программой. Выемка готового изделия осуществляется вручную.

Перечисленные принципы подразумевают, что сборочное приспособление должно отвечать требованиям универсальности по габаритам узлов, по малкам обводообразующих профилей, по фиксации профилей и стенок, а также обеспечивать отсутствие недоступных для автомата «мертвых» зон, а также самоналадку с помощью клепального автомата.

Указанным требованиям отвечает сборочное приспособление (рисунок 3.7), ложементы 3 которого размещены по жесткой раме 1 посредством плоских механизмов 2 и снабжены ловителями 4 для захвата их прижимами клепального автомата 6.

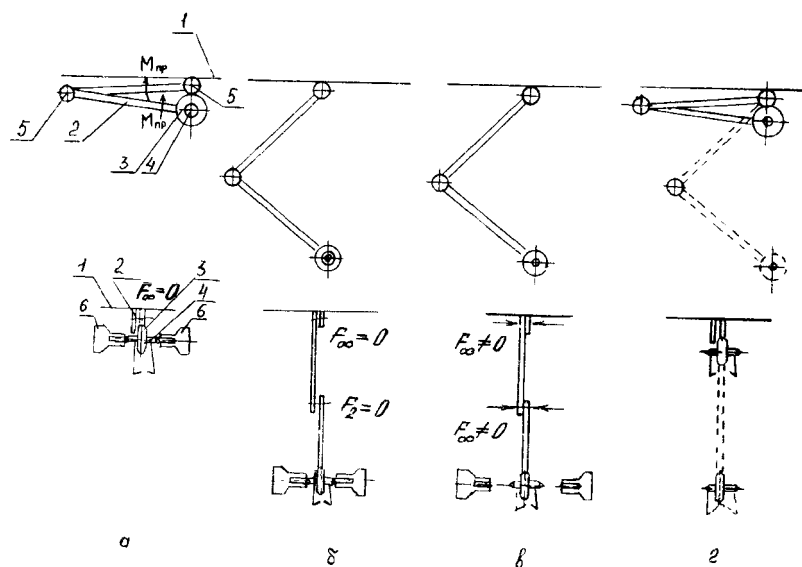


Рисунок 3.7 — Схема переналадки сборочного приспособления:

а — захват ложементов прижимами автомата в исходном положении;  
 б — вывод ложементов в рабочее положение; в — отвод прижимов автомата; г — возврат ложементов в исходное положение

1 — рама; 2 — плоский механизм; 3 — ложемент; 4 — ловитель;  
 5 — подвижное соединение механизма; 6 — прижимы клепального автомата

При расторможенных подвижных соединениях 5 (рисунок 3.7) механизм 2 под действием пружин складывается, выводя ложемент 3 с ловителями 4 в исходное положение. Это положение характеризуется фактическими координатами оси ловителей 4, которые из-за люфтов механизма 2 могут не совпадать с заранее введенными с систему ЧПУ теоретическими значениями координат.

По команде системы ЧПУ на переналадку (рисунок 3.7 а) автомат выводится в зону исходного положения ложемента 3 так, что координаты оси прижимов 6 автомата совпадают с теоретическими координатами оси ловителей 4. Последующий подвод прижимов 6 автомата к ложементу 3 приводит к захвату ловителей 4 с одновременным центрированием до совпадения их осей. При этом ложемент 3 перемещается до теоретических исходных координат. После захвата ложемента 3 клепальный автомат под управлением системы ЧПУ перемещается вместе с ложементом 3 (рисунок 3.7б) и доводит его до рабочего положения, характеризуемого соответствующими координатами оси ловителя.

Наличие, как минимум, двух степеней свободы у плоского механизма позволяет ложементу перемещаться по любой плоской траектории без заклинивания.

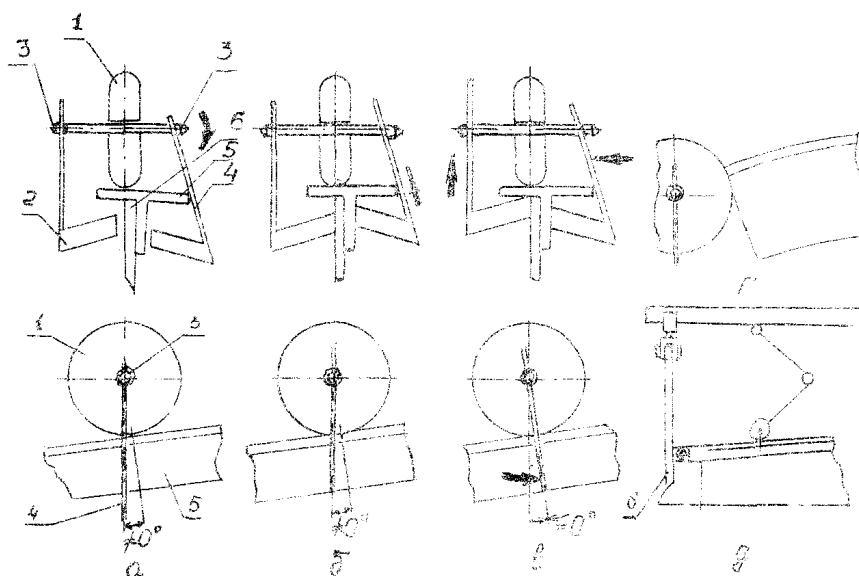


Рисунок 3.8 — Схема базирования обводообразующих поясов:

а — предварительная установка пояса и стенки с подводом откидного прижима; б — предварительное поджатие пакета к опорному базовому элементу; в — окончательное базирование пояса и стенки; г, д — фиксация пояса от продольных перемещений

1 — обводообразующий базовый элемент; 2 — опорный базовый элемент; 3 — ловители; 4 — откидной прижим; 5 — пояс; 6 — стенка

Выведенный в рабочее положение ложемент 3 (рисунок 3.7в) фиксируется устройствами фиксации подвижных соединений 5 механизма 2, и прижимы 6 автомата могут быть отведены от ложемента 3. Таким образом, производится наладка всех ложемента, на которые затем устанавливаются детали узла.

Каждый из ложемента имеет (рисунок 3.8) универсальный обводообразующий базовый элемент 1 в виде тела вращения, ось которого совпадает с осью ловителей 3, а также опорный базовый элемент 2 в виде крюка, опорная поверхность которого находится в базовой плоскости сборочного приспособления.

Такое расположение баз на ложементе гарантирует точное базирование обводообразующих поясов 5, независимо от малки, и позволяет точно увязать теоретический контур узла с положением оси ловителей 3, что очень важно при подготовке рабочих программ для ЧПУ.

Установка стенки 6 (рисунок 3.8 а) и пояса 1 на ложемент осуществляется вручную при откинута прижиме 4, подвод которого исключает выпадение деталей из приспособления. Предварительное поджатие пакета к одному базовому элементу 2 (рисунок 3.8 б) осуществляется путем перемещения прижима 4 в направляющих ловителя 3, после чего осуществляется окончательное базирование (рисунок 3.8 в) за счет поджатия пояса 5 к обводообразующему базовому элементу 1 путем перемещения опорного базового элемента 2, который при этом может поворачиваться вместе с ловителем 3 до положения, перпендикулярного обводу пояса 5.

Точное положение поясов вдоль их длины обеспечивается или за счет упора в специально выставляемый универсальный ложемент (рисунок 3.8 г), или за счет установки в приспособление шаблонов с ответными узлами фиксации (рисунок 3.8 д).

Отсутствие «мертвых» зон для доступа автомата обеспечивается (рисунок 3.9) за счет подвижного опорного базового элемента 2 и прижимов ложемента, возникающих под воздействием прижимов автомата 4, которые просто «отодвигают» мешающие элементы приспособления в сторону, при этом опорный базовый элемент 2 сохраняет свои опорные функции, но он должен быть отведен от обводообразующего базового элемента (рисунок 3.8 б).

Предварительное базирование подкрепляющих стоек 1 (рисунок 3.10 а) осуществляется путем подвешивания через направляющие отверстия на ступенчатые координатные штыри 2, оси которых перпендикулярны базовой плоскости приспособления. Подвешенная таким образом стойка 1 под действием сил тяжести занимает некоторое положение. Захват стойки схватом клепального автомата начинается с вывода автомата в положение, при котором оси координатного штыря 2 и прижимов 3 автомата

совпадают. Подвод прижима 3 обеспечивает поджатие стойки 1 к опорной поверхности ступенчатого штыря 2, при этом стойка 1 теряет все степени подвижности, кроме возможности поворота относительно оси штыря 2. Привод размещенного на клепальном автомате дифференциального схвата обеспечивает сближение губок 4 по жестким траекториям, независимо от величины и направления перемещений каждой из них.

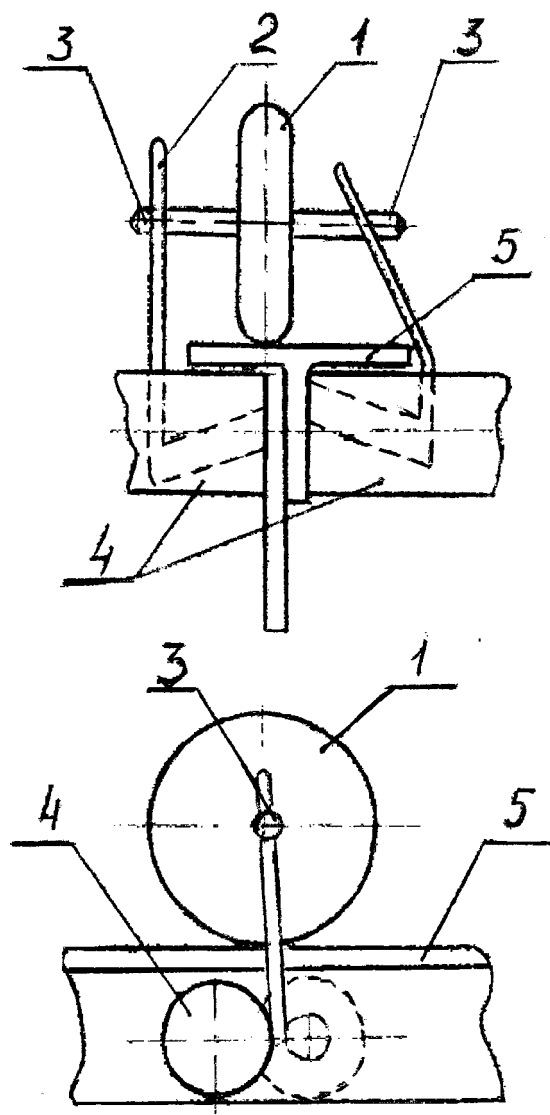


Рисунок 3.9 — Схема обеспечения доступа автомата в «мертвые» зоны:  
1 — обводообразующий базовый элемент; 2 — опорный базовый элемент; 3 — ловитель; 4 — прижимы клепального автомата; 5 — пояс

В связи с этим закрытие схвата сопровождается разворотом стойки в положение, параллельное сборочному (рисунок 3.10 б, в).

Для обеспечения захвата профилей с наклонными элементами губки 4 оснащаются поворотными вкладышами 5 (рисунок 3.10 г). После за-



крытия губок 4 схват заклинивается, что обеспечивает неизменность положения стойки 1 относительно клепального автомата при снятии ее со штыря 2 за счет отвода схвата и прижима 3 и при переносе ее в сборочное положение. При наличии стоек с двух сторон собираемого узла координатные штыри должны быть предусмотрены с двух сторон приспособления.

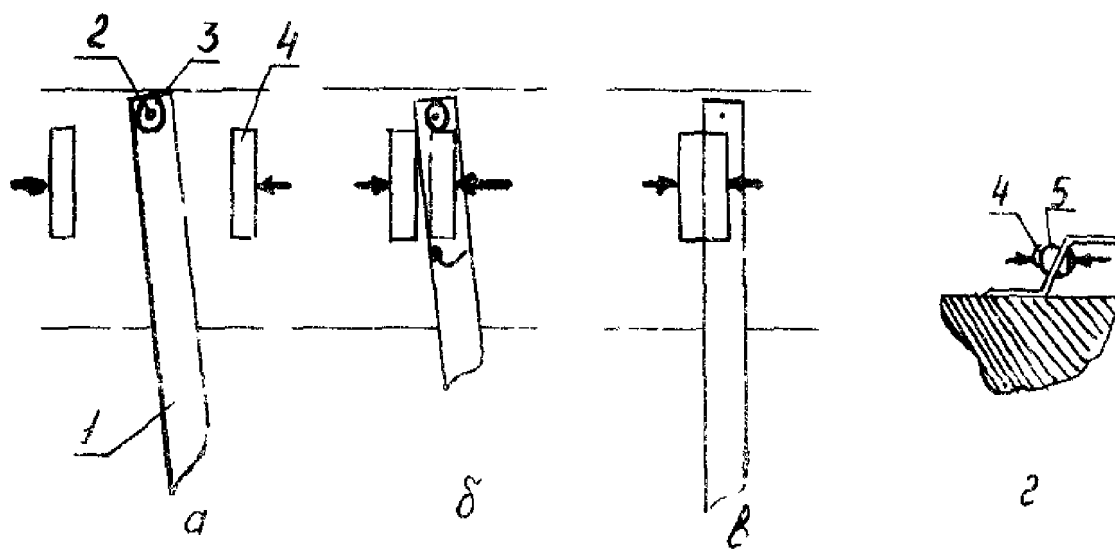


Рисунок 3.10 — Схема предварительного базирования и захвата подкрепляющих стоек:

а — предварительное базирование стойки; б — процесс разворота стойки при сближении губок схвата; в — окончательный захват стойки; г — захват стойки за наклонную стенку  
 1 — подкрепляющая стойка; 2 — координатный ступенчатый штырь;  
 3 — прижим клепального автомата; 4 — губки схвата; 5 — поворотный вкладыш

Рассмотренный вариант гибкого комплекса предусматривает использование ручного труда, однако возможна реализация и полностью автоматизированного варианта. Определяющее значение в этом случае должен иметь критерий экономической эффективности оборудования.

## ***ЗАКЛЮЧЕНИЕ***

Приведенный в данном пособии материал, несмотря на ограниченный объем, по мнению авторов, показывает, насколько широки возможности импульсного привода с точки зрения повышения эффективности производства. С одной стороны, — это расширение технологических возможностей за счет большого разнообразия реализуемых способов клепки, высоких энергетических характеристик привода, высокой стабильности качества.

С другой стороны — это путь к резкому увеличению производительности, снижению доли непрестижного ручного труда с вредными условиями за счет создания разнообразных средств механизации и автоматизации технологических процессов. Внедрение средств технологического оснащения на базе импульсного привода в производство во многих случаях не требует больших капитальных затрат, поскольку возможность модульного построения позволяет идти по пути модернизации существующего широко используемого оборудования. Например, монтаж автоматических клепальных головок на сверлильно-зенковальные установки позволяет превратить их в высокопроизводительные клепальные автоматы. Работы по созданию оборудования на базе импульсного привода широко ведутся у нас в стране и за рубежом, и уже полученные результаты подтверждают правильность такого подхода.

## *Библиографический список*

1. Осинцев В. И., Бунуева Г. А., Кацнельсон Б. А. К анализу экономического ущерба от вибрационной болезни // — Гигиена и санитария, — М.: Медицина, 1976, №10.
2. Григорьев В. П. Влияние технологии выполнения соединений в листовых деталях на их прочность и выносливость. — М.: Оборонгиз, 1963.
3. Григорьев В. П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. — М.: Машиностроение, 1975.
4. Хейвуд Р. Б. Проектирование с учетом усталости. — М.: Машиностроение, 1969.
5. Вигдорчик С. А. Технологические основы проектирования и конструирования самолетов: Конспект лекций. — М.: МАИ, 1973.
6. Белянин П. Н. Производство широкофюзеляжных самолетов. — М.: Машиностроение, 1979. ч. III. М.: МАИ, 1976.
7. Пневматический клепальный молоток. Патент США В21j15/18, №4039034 от02.08.77.
8. Кононенко В. Г. Высокоскоростное формоизменение и разрушение металлов. — Харьков: Высш. шк., 1980.
9. Одноударный заклепочный инструмент. Патент США В21j15/22, №3851713, 1974.
10. Лысенко Ю. Д. и др. Разработка и исследование технологических процессов и оборудования для магнитно-импульсной клепки. — В сб.: Получение деталей авиационной техники методами пластической деформации металлов. — Куйбышев: КуАИ, 1981.
11. Обжимка для клепки. Патенты ст. Германии В21j№590768, №517726, 1938.
12. Манаинков В. А., Акимов Ю. В., Плауцин Д. В. Повышение ресурса клепаных соединений тонколистовых конструкций /— В сб.: Вопросы технологии сборки конструкций летательных аппаратов. — Куйбышев: КуАИ, 1982.
13. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: учебник для студентов высших технических заведений / В. А. Барвинок, В. И. Богданович, П. А. Бордаков и др. — М.: Машиностроение. 1996. — 576с.
14. Лысенко Ю. Д., Аксютин В. Д., Гладышева Л. Г. Сверлильно — клепальные автоматы / — В сб.: Вопросы технологии сборки конструкций летательных аппаратов. — Куйбышев: КуАИ, 1982.

15. New microprocessor system at Boeing automates wing spar assembly for 767 JAMJ, 10, 1980.
16. Желтов И. Н., Звягинцев В. А. Основы промышленной робототехники и ГАП: Учебное пособие /— Куйбышев: КуАИ, 1989, 56с.
17. Беянин П. Н. Автоматические манипуляторы и робототехнические системы / — Сер. Робототехнические системы для машиностроения. —М.: Машиностроение, 1986.

*Учебное издание*

*Лысенко Юрий Дмитриевич,  
Звягинцев Виктор Александрович*

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
СБОРОЧНО – КЛЕПАЛЬНЫХ РАБОТ  
НА БАЗЕ МАШИН ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*Учебное пособие*

Технический редактор В. Т. С а м о х в а л о в  
Редакторская обработка Н. С. К у п р и я н о в а  
Корректорская обработка Т. К. К р е т и н и н а  
Доверстка Е. А. Л а р и о н о в а

Подписано в печать 25.09.07. Формат 60x84/16  
Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 4,75.

Тираж 120 экз. Заказ . ИП-123/2007

Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
443086 Самара, Московское шоссе, 34

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета,  
443086 Самара, Московское шоссе, 34