

Государственный комитет РСФСР по делам  
науки и высшей школы

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

Ю.Д.Лысенко В.А.Звягинцев Б.П.Пешков

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ КЛЕПАЛЬНО-СБОРОЧНЫХ РАБОТ  
НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНЫХ МАШИН

Учебное пособие

Самара 1991

УДК 629.735

Механизация и автоматизация клепально-сборочных работ на базе импульсных машин: Учеб. пособие / Ю.Д.Лысенко, В.А.Звягинцев, Б.П.Пешков; Куйбышев. авиац. ин-т. 1991. 54 с. ISBN 5-230-16886-2

Рассмотрены вопросы использования импульсных клепальных машин для механизации и автоматизации процессов сборки конструкций летательных аппаратов. Показаны перспективы использования импульсных клепальных автоматов для встраивания в сборочную оснастку, а также создания гибких клепально-сборочных систем.

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

Табл. 2. Ил. 15. Библиогр.: 2 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института им. академика С.П.Королева

Рецензенты: Г.Н.Плотников, Е.Н.Борисов

ISBN 5-230-16886-2

© Куйбышевский авиационный институт, 1991

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

В в е д е н и е .....	4
I. Машины и оборудование, применяемые для клепки .....	6
I.1. Ручные клепальные многоударные машины (молотки) .....	6
I.2. Ручные машины для импульсной клепки .....	9
I.3. Особенности выполнения высоко- ресурсных заклепочных соединений с помощью импульсных клепальных устройств .....	16
I.4. Прессовая клепка .....	18
I.5. Сверлильно-клепальные автоматы .....	20
2. Перспективные направления развития средств автоматизации клепально-сборочных работ на базе импульсных клепальных машин .....	33
2.1. Общая характеристика направлений ....	33
2.2. Доработочные автоматизированные рабочие места .....	34
2.3. Встраивание импульсных клепальных автоматов в сборочные приспособле- ния .....	40
2.4. Гибкие клепально-сборочные системы ..	42
З а к л ю ч е н и е .....	53

## В В Е Д Е Н И Е

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

Возрастающие требования к повышению прочности, ресурса герметичности, снижению массы планера 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 автоматах с ЧПУ;

техпроцессы выполнения соединений в полуавтоматическом режиме на 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 инструментами малой механи-  
зации.

Все они состоят из последовательного повторения комплекса ана-  
логичных операций (образование отверстий; выполнение соединений; гер-  
метизация 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 определяет 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 на предприятиях МОМ и МАП 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 в последние годы получили исследования и разработки, связанные с созданием различного рода машин, в том числе и для операций клепки. XXVII съезд КПСС поставил вопрос о необходимости широкой механизации и автоматизации всех работ. В производстве ЛА наибольшей трудоемкостью отличаются сборочные работы, и значительная их доля приходится на работы, связанные с получением заклепочных соединений.

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. 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 — клепальные молотки. 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. По эксплуатационному признаку клепальные прессы разделяются на стационарные и переносные.

### 1.1. 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 внеставельной сборки применяется многоударная клепка пневматическими молотками. При этом в общем объеме клепальных работ при производстве летательных аппаратов ударная клепка составляет от 20 до 40% 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 обеспечивать высокое качество клепки и производительность труда. Немалую роль играет при этом и мастерство подручного, который во время клепки фиксирует заклепку с помощью поддержки. 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. Поскольку заклепка в начале процесса

осаживания выталкивается молотком из отверстия, то для обеспечения плотного прилегания закладной головки к пакету поддержка должна быть достаточно массивной.

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

Очевидно, что клепка по этому способу может быть только многударной. Обратная клепка обеспечивает высокое качество соединений и особенно широко применяется при клепке заклепок с потайной закладной головкой, так как при этом достигается удобство работы клепальным молотком. Поддержку же значительно легче ввести в труднодоступные места или придать ей необходимую форму. Однако работа клепальщика осложняется тем, что момент окончания клепки он вынужден определять интуитивно, на основании своего опыта, что, естественно, сказывается на качестве клепки.

Работа пневмомолотков сопровождается сильным шумом и вибрациями. Установлено, что порог чувствительности при их сочетании повышается по сравнению с их отдельным воздействием в 1,7-1,8 раза, виброчувствительность - в 1,1-1,2 раза. Высокочастотный шум 97-115 децибел вызывает у клепальщиков целый ряд профзаболеваний: тугоухость, болезнь Меньера, склероз, ревматизм рук, виброболезнь, шум в ушах и т.д. Кроме того, в зависимости от диаметра расклепываемой заклепки меняется и вес используемых ручных машин: чем больше диаметр заклепки, тем тяжелее молоток (табл. I.I).

Поэтому работа сборщиков сопряжена с постоянной физической нагрузкой. Все эти факторы влияют не только на развитие профзаболеваний, но и способствуют быстрой утомляемости рабочих, а следовательно, снижению производительности труда и повышению процента брака. Кроме того, подсчитано, что один случай виброболезни наносит государству огромный экономический ущерб - 10000 рублей, большие средства затрачиваются на лечебно-профилактические мероприятия.

Поиск путей снижения объема виброопасной клепки идет в направлении разработки конструкций заклепок, не требующих ударного инструмента для их постановки и создания новых видов переносного инст-

румента прессового действия, например, гидравлических клепальных установок (ГКУ), пневматических клепальных раскатных устройств (ПКРУ).

Ведутся также работы по совершенствованию конструкции многоударных молотков. Так, фирма *At-Case Corpco* (Швеция) предлагает новую конструкцию маловибрационного молотка для клепки заклепок диаметром до 10 мм, который на 10% легче и на 25% мощнее существующих. Пневматическое с вибродемпфированием поддерживающее устройство для клепки значительно облегчает работу с пневмомолотками. Уменьшение вибрации достигается с помощью пневматической сервосистемы, помещенной между рукояткой и рабочей частью молотка. Гарантируется гашение вибрации на 95%. Молоток автоматически включается только при нажиме на заклепку. Сообщается о разработке соответствующей молотку пневматической поддержки.

Т а б л и ц а I.I

Основные технические параметры	Ед. 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 расклепываемой заклепки из сплава В-65	мм	4	3,5	5	8
Время расклепывания заклепок:	с				
для пакета - 1		1,0	1,0	1,5	2,0
для пакета - 2		1,5	2,0	2,0	3,5
для пакета - 3		2,0	2,5	2,5	5,0
Давление сжатого воздуха	МПа	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
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 при обратном методе клепки	кг	2,0	1,0	3,0	6,0



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

## 1.2. Ручные машины для импульсной клепки

Импульсный метод клепки отличается тем, что удар по стержню заклепки наносится твердым телом, движущимся с большой скоростью — до 100 м/с. При одноударной клепке, когда замыкающая головка образуется за 1-2 тысячных долей секунды, время клепки, а следовательно, и время воздействия шума и вибрации на клепальщика существенно меньше, чем при многоударной.

Перемещение обжимки при формировании замыкающей головки заклепки происходит сразу на весь путь деформирования, подобно тому, как это происходит при прессовой клепке, и потому клепка возможна либо прямая, либо встречная.

Поскольку влиять на процесс клепки ввиду его кратковременности клепальщик не может, то его функции сводятся только к позиционированию молотка и управлению. По этим причинам качество клепки возрастает, а необходимая квалификация клепальщика снижается.

В настоящее время разработаны, испытаны и переданы для промышленного применения клепальные ручные молотки, обеспечивающие получение высокоресурсных соединений.

В зависимости от природы источника, создающего силовой импульс, машины импульсного действия можно разделить на ряд типов, представители которых рассмотрены ниже.

Пневматические молотки для клепки за 1-2 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 ЗКМО выявились такие характерные для него недостатки, как утомляемость и затруднительное для клепальщика управление молотком (необходимо было резко нажимать на пусковой курок), применение более тяжелой поддержки, нестабильность энергии ударов.

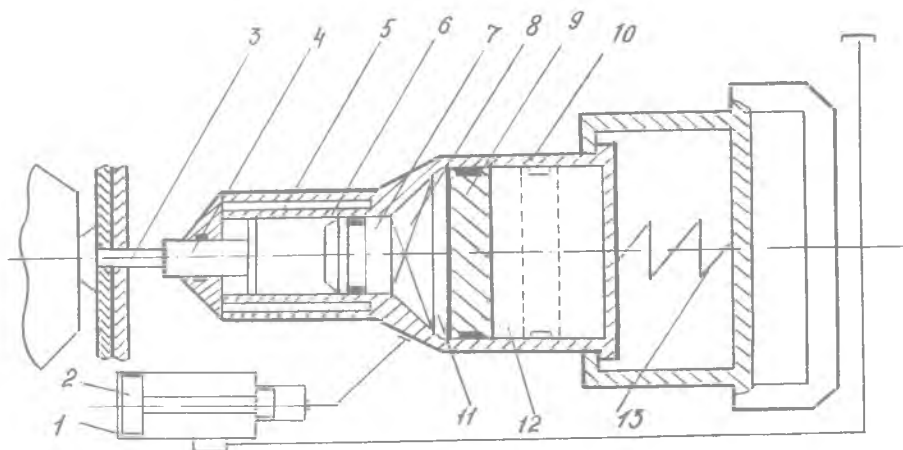
Однако продолжающийся поиск в этом направлении позволяет считать, что приемлемые для условий самолетостроительных заводов одноударные пневматические клепальные молотки будут созданы. Так, в США

запатентован пневматический молоток с ресивером, позволяющий клепать за один удар. В настоящее время и в нашей стране созданы сравнительно легкие молотки.

Пороховые молотки разработаны для клепки главным образом стальных заклепок диаметром до 24 мм в холодном состоянии. Достоинствами их являются полная автономность в силу отсутствия питающей установки, плангов, кабелей и сравнительно небольшие массы и габариты.

Эти особенности наиболее ценны при работе в полевых условиях, например, в строительных или ремонтных работах. 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 колебаний массы порохового заряда (+0,05 гр) 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 (азот, воздух и др.).

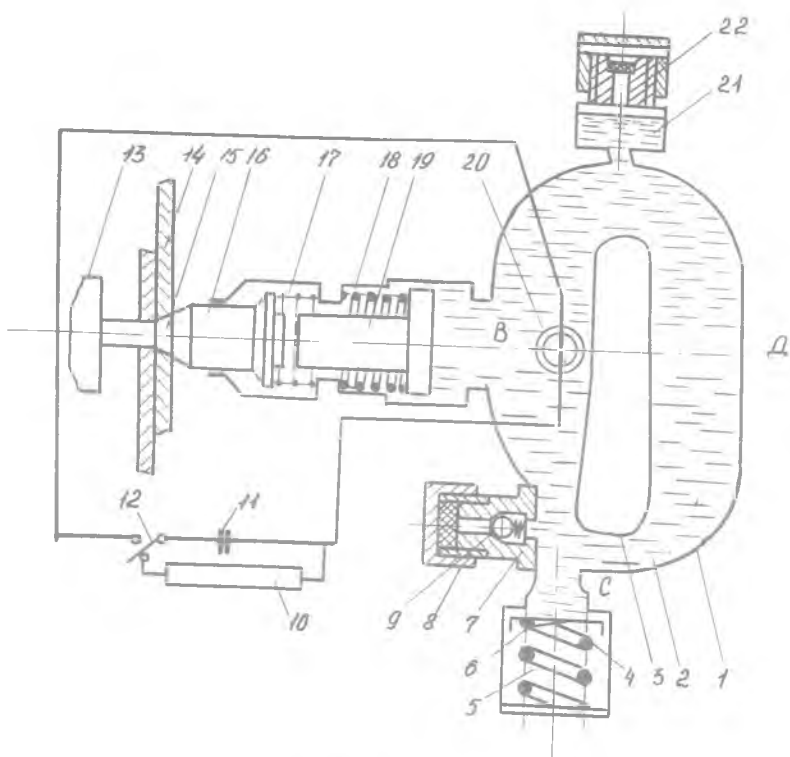
Пневмогидравлические молотки имеют габариты и массу, приближающиеся к параметрам многоударных пневмомолотков (см. табл. I.I). В качестве энергоносителя в них используется сжатый азот, а приводом служит пневмогидравлический мультипликатор, широко применяемый при механизации клепально-сборочных работ. На рис. I.I 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 ( $60 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup>), а в камеру 5 закачивается от сети воздух низкого давления, служащий для возврата бойка в исходное по-



Р и с. I.1. Принципиальная схема пневмогидравлического клепального молотка

ложение. При подаче жидкости от привода I в полость II молотка плавающий поршень перемещается вправо и сжимает газ в ресивере I2 до более высокого давления. При достижении заданного давления запирающее устройство 8 срабатывает, и жидкость, находящаяся в полости II 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 II 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. Применение пневмогидравлических молотков затрудняется сложностью их изготовления.

Молоток электрогидравлического действия (рис. I.2) работает от источника постоянного тока IO и конденсаторной батареи II. После



Р и с. 1.2. Схема клепального молотка электрогидравлического действия

включения контактора 12 накопленная энергия разряжается в рабочем 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, который деформирует заклепку 15. При импульсном пробое жидкости основная часть энергии выделяется в промежутке между электродами 20. Это сопровождается образованием первичной ударной волны и газопаровой области. Ударная волна, распространяю-

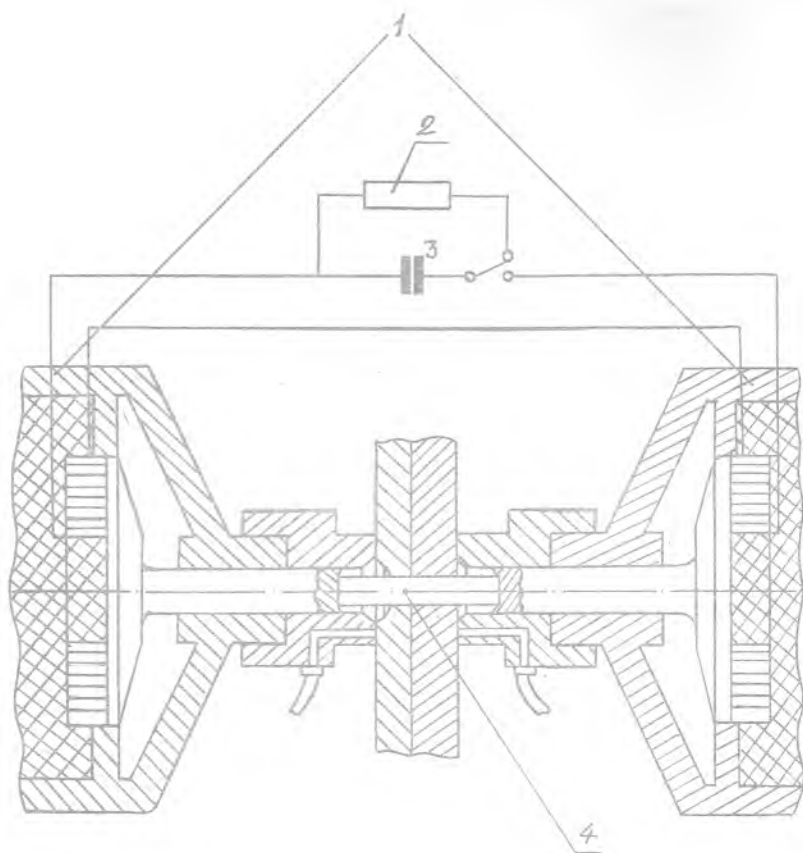
щаяся по участку ВС - прямого действия, перемещает поршень 6, сжимая пружину 4, а ударная волна, распространяющаяся по участку ВД - отгибающего действия, достигает камеры прокачки жидкости 5 через профилированный канал 3 к моменту, когда энергия ударной волны прямого действия воспринята пружиной 4. Поршень 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.

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

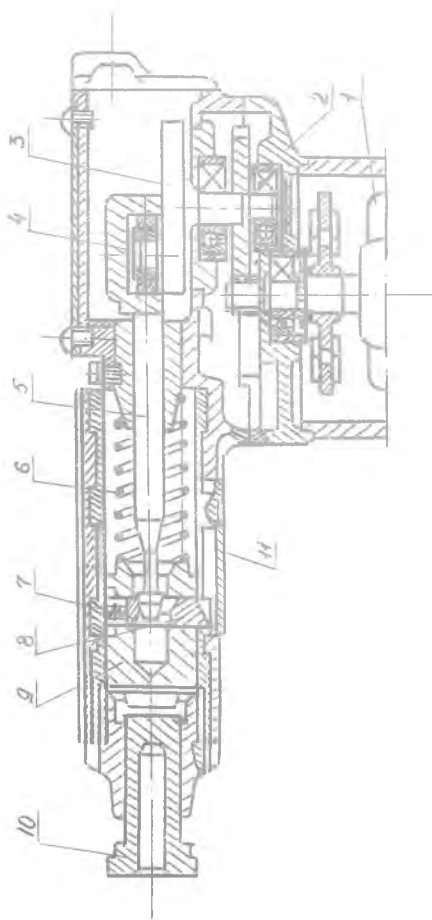
В условиях серийного производства молотки были впервые использованы фирмой "Боинг" (США) для клепки панелей крыла самолетов Боинг-747 в тех местах, которые не могли быть проклепаны автоматами фирмы "Джемкор". Созданные для этой цели клепальные молотки обеспечили встречную клепку стержней-заклепок диаметром 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 (рис. 1.3). 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 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.

Известен клепальный молоток с электро-механическим приводом малой энергоемкости с пружинным механизмом (рис. 1.4), служащий для выполнения легких работ.



Р и с. 3. 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



Р и с. 1.4. Конструктивная схема кувальдного молотка с электромагнитным приводом

Он имеет двигатель I, 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 IO для инструмента боек остается неподвижным. 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 II, при этом действие пружины вызывает удар бойка по инструменту.

### I.3. Особенности выполнения высокоресурсных заклепочных соединений с помощью импульсных клепальных устройств

Установлено, что при импульсной клепке возникает ряд специфических явлений, определяемых кратковременностью процессов и наличием больших пластических деформаций. 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 кинематическую энергию накапливают объемы, расположенные в верхних периферийных точках, и значительно меньше энергии накапливается в нижних точках образца.

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. Данное обстоятельство имеет большое значение для оценки и разработки технологических процессов клепки.

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 4–5%. При расклепывании стержень заклепки, деформируясь, увеличивается в диаметре и вдавливается 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. Увеличения усилия приводят к заклиниванию стержня и образованию замыкающей головки. В результате под закладной головкой заклепки натяга может не быть вообще. Это способствует снижению выносливости соединения, кроме того, оно негерметично.

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. 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.

Установлено, что стеснение объема замыкающей головки способствует увеличению усилия расклепывания и натяга заклепки в пакете.

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 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 прочностных испытаний ЦАГИ рекомендует применять импульсные молотки взамен пневмомолотков при клепке самолетных конструкций с образованием полукруглой замыкающей головки.

#### 1.4. 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 пресса 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 попадают 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 усилие расклепывания, что позволяет обеспечить постоянный натяг во всех соединениях, поскольку колебания вышеупомянутых параметров бу-

дут компенсированы за счет объема замыкающей головки заклепки. По указанным причинам в авиационной промышленности прессы для групповой клепки начинают применять для расклепывания не более чем двух заклепок одновременно.

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

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 вне-стапельной 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 т.

Прессовая клепка получила наибольшее распространение в производстве летательных аппаратов, где одним из показателей уровня производства является степень механизации клепальных работ. Это связано с такими достоинствами прессовой клепки, 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.

## 1.5. 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 в связи с улучшением 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%.

Цикл работы автомата включает в общем виде следующие элементы: выравнивание поверхности изделия относительно оси инструментов;

- сжатие пакета;

- образование отверстия и гнезда под заклепку;

- вставку заклепки;

- образование замыкающей головки;

- отвод инструментов в исходное положение;

- перемещение изделия или автомата на шаг клепки.

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; установки УКПА-1; У2,5АК-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.

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 закладной 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, зачатку выступающей части потайной головки заклепки.

Кроме полного автоматического цикла можно осуществлять отдельные автономные циклы, включающие один или несколько технологических переходов.

Принципиальное отличие автоматов АК-16-3 и 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 от клепки.

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 клепки 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 выпускаемых в СССР изделий нетехнологично для выполнения соединений в автоматическом режиме. Проектируются они без учета требований к сборочным единицам, подлежащим переводу на автоматическую клепку. В конструкциях клепанных 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.

Проблемами повышения технологичности клепанных 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 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.

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.

В области создания автоматического клепального оборудования ведущее место занимают сверлильно-клепальные автоматы фирмы *Gemcoz*, которые поставляются в различные страны. Кроме *Gemcoz* выпускаются они также специализированными фирмами *Czaco* и *Delford* (США). Выпускаются автоматы различных модификаций, предназначенные для клепки панелей крыла и фюзеляжа, носовых отсеков крыла и других подборок. 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 *Automatic* фирмы *Gemcoz* моделей *G-200*, *G-39/AN-96*, *G-300*, *G-400B*, *G-6535*, *G-666*, *G-747* и другие. Широкое применение клепальных автоматов в ведущих самолетостроительных фирмах США *Boeing*, *Douglas*, *Lockheed* и других обеспечивает ресурс соединения до 60000 л.ч., высокую степень их герметичности, снижение трудоемкости клепальных работ в 3-4 раза. На 34-м и 35-м международных авиационно-космических салонах в Париже фирма *Gemcoz* представила гамму оборудования: автоматы, позиционеры, системы ЧПУ к ним и образцы выполнения соединений в автоматическом цикле.

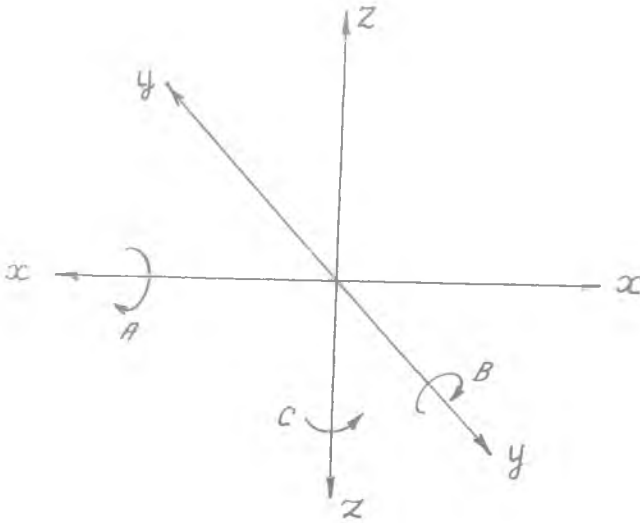
Фирма *Gemcoz* все время совершенствует процессы автоматической клепки. Появились информационные данные о 6-координатной автоматической позиционной системе *G-79* с ЧПУ. Эта 6-координатная система предназначена для работы в среднем режиме в сочетании со сверлильно-клепальным автоматом и обеспечивает шестикоординатное перемещение по осям *X, Y, Z* и вращательные *A, B, C* относительно них, как показано на рис. 1.5. В системе позиционирования используется ЧПУ для выполнения обычных функций, включая интерполяцию. Движение по всем 6 координатам программируется. В настоящее время фирма ведет работы по обеспечению автоматизированных процессов изготовления соединений с использованием совершенных роботов или манипуляторов. Эти работы ведутся в двух направлениях:

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 ступенчатой сборки, где робот с помощью клепальной головки (автомата) осуществляет операции выполнения соединений в автоматическом цикле.

Фирма *Gemcoz* утверждает, что это первые шаги в использовании роботов в автоматическом цикле выполнения клепаных соединений, и отмечает перспективность этого направления. Предполагается проведение работ по совершенствованию и расширению применения роботов в области выполнения заклепочных соединений. Фирма *JBA1* разработала





Р и с. 1.5. Схемы перемещения автоматической позиционной системы

основные принципы проектирования изделий, изготавливаемых методом роботизированной сборки. Конструкции узлов, агрегатов должны удовлетворять следующим требованиям: минимальное число деталей, минимальное перемещение при сборке, удобство манипулирования деталями.

Фирма *Aluminum 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*. В начале 1982 г. фирма применила уже 5 роботов: для сверления отверстий в графитоэпоксидной обшивке горизонтального оперения, отверстий в алюминиевых съемных панелях и отверстий в крыле. К концу 1982 г. было использовано еще 5 роботов: 3 – для сборочных работ в крыле, 2 – на сборке съемных панелей фюзеля-

ляжа. 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 *Heracles* (в перегородке содержится 11 отдельных деталей и 154 заклепки). Время рабочего цикла промышленного робота (IP) по сравнению с продолжительностью цикла, выполняемого вручную, сократилось в 2 раза (с 22 до 11 мин). В состав робототехнического комплекса входят: ИР фирмы *Cincinnati Milacron* (США), упрочненные зажимные приспособления, рабочий стол и автоматизированный клепальный станок. К концу 1982 г. предполагалось внедрить роботизированную сборку лонжеронов крыла, нервюр и других подобных узлов. Предусматривалось использование системы искусственного зрения на базе трех пространственных видеодатчиков. В I квартале 1983 г. предполагалось внедрение клепальной машины с электронным управлением.

Новшеством является разработка в США автоматизированного стапеля *Asa* (*Automatto Spaz Assembly Tool*). Машина-стапель разрабатывалась в течение 3,5 лет и стоит 2,5 млн долларов. Предназначается для сборки с внутривальным герметиком, для закрепления, сверления и клепки лонжеронов крыла длиной 27 м широкофюзеляжного самолета B-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, электромагнитный клепальный пистолет, систему подачи заклепок, систему отсоса стружки, перемещаются по местам, указываемым компьютером. После того как датчики определяют толщину деталей, подлежащих закреплению, стапель выдает давление для удержания этих деталей вместе. Выдается команда на сверление отверстий в деталях и установку заклепок требуемого размера. Стружка удалится с помощью вакуума, что сводит за-

грязнение его 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 *Boeing* пытаются сократить его до 6 с. 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 рассчитывает сэкономить 50000 дол./самолет, снизив на 20-30% общее число человеко-часов, затрачиваемое на изготовление I 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 *Boeing* разработала техпроцесс сборки лонжеронов крыла В-767 на *ASAT* с помощью титановых заклепок.

Фирмой *Lockheed Georgia Tool* (США) в сотрудничестве с фирмой *International Tool Co* разработан автомат для сверления отверстий и клепки с управлением от системы *CNC*. Эта система позволяет выполнять координированное программное управление, обеспечивая позиционирование деталей, сверление отверстий и установку заклепок. Автомат оснащен челночным механизмом со смонтированным сверлильным и клепальным устройством и ПР, в котором может быть запрограммировано автоматическое позиционирование различных деталей. Новая система должна быть использована в производстве самолетов С-150, С5-А, С5-В. Производительность автомата - 10 штук заклепок в минуту.

В настоящее время в США разрабатываются роботы для удаления дефектных заклепок из авиационных конструкций. Юго-западный научно-исследовательский центр (НИЦ) в г. Сан-Антонио (шт. Техас) по

контракту ВМС разрабатывает автоматизированную 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  $\pm 0,076$  мм. Разработка промышленного образца планировалась к середине 1985 г.

Сообщается о разработке специального сверла для удаления заклепок. Им можно будет высверливать почти все типы заклепок без смены инструмента. Для выпрессовки остатков заклепок в рабочей головке предусмотрена возможность установки трех различных пуансонов, каждый из которых будет иметь свой пневмопривод. После удаления заклепки робот будет отмечать отверстия, требующие дополнительного контроля. Заданная производительность робота – удаление одной заклепки в течение 30 с.

На фирме *Lockheed* (США) разработан и опробован прототип автоматизированного центра для проведения клепальных работ при сборке агрегатов. Приведен состав оборудования, входящего в автоматизированный центр. Эффективность работы клепального центра демонстрируется на примере изготовления подборок для патрульного самолета Р-3С.

Для ведущих фирм авиационно-космической промышленности стран Западной Европы характерной тенденцией до недавнего времени было сохранение хорошо изученных методов 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 ФРГ, ведущие положение в которой занимает фирма *VFW-Fokker*.

Согласно заявлению специалистов фирмы *VFW*, фирмы стран Западной Европы значительно отстают от США по объемам применения машинной клепки, что обуславливает высокую стоимость конструкций. Уро-

вень 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% той стоимости составляет стоимость клепальных работ, остальные 10% приходится на стоимость заклепок. Для снижения расходов на изготовление узлов и агрегатов самолетов А-300, А-310, А-320 фирмы Англии, Франции, ФРГ разрабатывают автоматизированные линии, станки для выполнения сборочно-клепальных процессов в условиях узловой и стапельной сборки. Программой исследований предусмотрен цикл испытаний с целью оценки прочностных и усталостных характеристик, определения оптимальных технологических параметров процессов ручной и машинной клепки и получения необходимой для проектирования информации.

До недавнего времени 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 *Recou 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 плоскости крыльев длиной до 10 м.

Автоматизация оборудования, используемого в авиационной промышленности ФРГ 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. Приводятся примеры машин для клепки с C-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. Предполагается оснастить машины для клепки ИР и телевизионными камерами, с помощью которых будет 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 (ФРГ) с 3 пуансонами 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.

Западногерманскими фирмами при содействии Министерства исследований и технологии ФРГ разработана конструкция шестикоординатного клепального автомата для соединения панелей обшивки аэробуса. Все функции автомата задаются программой от ЭВМ, записываемой на перфоленту. 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 *Sensozik*, осуществляющим поиск позиции заклепки.

В литературе описывается сверлильно-клепальный автомат фирмы *Mannesmann Demag* и *Vezdichte und Drucklufttechnik Pokorni* предназначенный для применения в производстве самолетов типа аэробус. Рабочий цикл станке состоит из 5 фаз, включающих следующие операции:

- 1 - обжим деталей, измерение толщины, выбор длины заклепки;
- 2 - сверление и зенкование, удаление стружки;
- 3 - консервация;
- 4 - подача и установка заклепки;
- 5 - клепка, освобождение сжатых деталей.

Точность глубины сверления и зенкования  $\pm 0,02$  мм. Стружка удаляется всасыванием или сдуванием. Для перемещения и позиционирования рабочего стола станка используется ЧПУ. Технические данные: сила сжатия деталей 50-400 Н, сила клепки 80 кН, величина подачи при сверлении от 0,02 до 0,3 мм/об, частота вращения шпинделя от 300 до 10000 об/мин.

Фирма *Demag* (ФРГ) совместно с французскими специалистами разработала и выпустила автоматический сверлильно-клепальный станок для нужд авиационной промышленности как Франции, так и ФРГ. 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, локвов и других деталей и узлов планера А-310 предназначено переналаживаемое сборочное оборудование, выполняющее сверление, зенкование и установку заклепок. Фирма *VFW* (Бремен) разрабатывает в настоящее время 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* (ФРГ) совместно с фирмой *Atlas Copco* (Швеция) разработала новый тип автоматической клепальной машины - пресс-автомат *ARAS (automated Riveting assembly system)*. Пресс-автомат предназначен для клепки деталей с криволинейной поверхностью, которые

невозможно соединять в стационарном оборудовании, на пример клепку фюзеляжа самолетов типа аэробус. Кроме того, 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 и может перемещаться вдоль линии сборки и устанавливаться на собираемых элементах. Оснащена системой подвода жидкого герметика и системой выборочной подачи заклепок. Работой пресс-автомата управляет блок с ЧПУ. Система управления типа *CNC* обеспечивает точность позиционирования *ARCS II* мкм. Производительность прессы составляет 6-7 заклепок в минуту. Одним из основных ее преимуществ является отсутствие вибрации при клепке.

Вибрационный метод клепки разработан также фирмами *VFW* (ФРГ), *Boeing* (США), *SAAB* (Швеция). Особенно эффективен он при постановке заклепок из титана.



## 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ КЛЕПАЛЬНО-СБОРОЧНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНЫХ КЛЕПАЛЬНЫХ МАШИН

### 2.1. 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 и 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 автоматизации. 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 перенастраиваемый 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 раздельного манипулирования ими с помощью двух роботов, управляемых от одной системы с ЧПУ.

## 2.2. Доработочные автоматизированные рабочие места

Возможность использования доработочных рабочих мест связана со следующими особенностями конструкции и технологии изготовления клепаных конструкций:

необходимость обеспечения точности обводов сборочной единицы, взаимного расположения и формы жестких деталей в совокупности с

принятой в производстве летательных аппаратов системой увязки геометрических форм и размеров требует использования сборочных приспособлений, в которых осуществляется процесс сборки ;

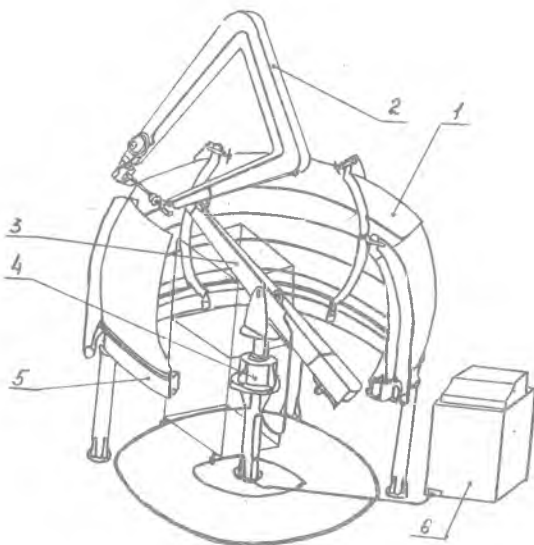
выбор количества и типа крепежа определяется при проектировании клепаной конструкции исходя из эксплуатационных нагрузок, которых в производстве она не испытывает. Поэтому в большинстве случаев достаточно выполнить 5–15% соединений, чтобы конструкция приобрела жесткость, достаточную для сохранения своих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

Таким образом, конструкция с частично установленным крепежом может быть вынута из сборочного приспособления и перенесена на доработочное рабочее место, а в освободившемся 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 перемычек, управляющих приводами перемещения автоматов по сигналам катчиков, то в ДАРМ с импульсными автоматами отслеживание перемычек 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).



Р и с. 2.1. 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 (рис. 2.1) 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;

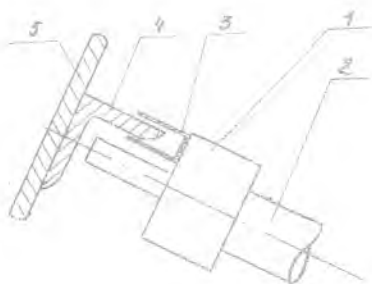
энергоблок 6 питания силовых головок.

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 копировальным шупом-вилкой с регулируемым относительно оси рабочей головки положением.

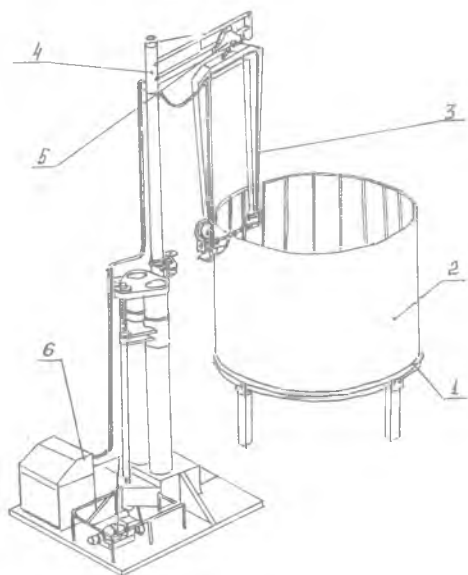
Процесс клепки осуществляется следующим образом.

Оператор накладывает шуп-вилку 3 на свободную полку профиля 4 и регулирует положение оси рабочей головки 1 относительно шупа (рис. 2.2), задавая тем самым величину перемычки от края отверстия под заклепку до края привалочной полки профиля. 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



Р и с. 2.2. Схема обеспечения перемычки от края отверстия до края детали в ДАРМ-КС: 1 - рабочая головка импульсного клепального автомата; 2 - позиционер; 3 - шуп-вилка; 4 - профиль; 5 - обшивка.



Р и с. 2.3. 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

требованиях к точности шага заклепок в шве перемещения автомата вдоль профиля может осуществлять оператор, а для повышения стабильности шага следует использовать механизм, "шагающий" по профилю рядом со шпунтовилкой и подтягивающий автомат от одного места выполнения соединения к другому.

ДАРМ-КЦ (рис. 2.3) предназначено для доклепывания предварительно собранных цилиндрических конструкций, имеющих обшивку и силовой набор, состоящий из шпангоутов и стрингеров уголкового, таврового и зетобразного сечения. В состав ДАРМ-КЦ входят:

поворотный стол I, предназначенный для базирования объектов клепки 2 по базовой плоскости торцевого шпангоута с обеспечением соосности вертикальной оси вращения стола I и оси объекта клепки 2 для вращения 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;

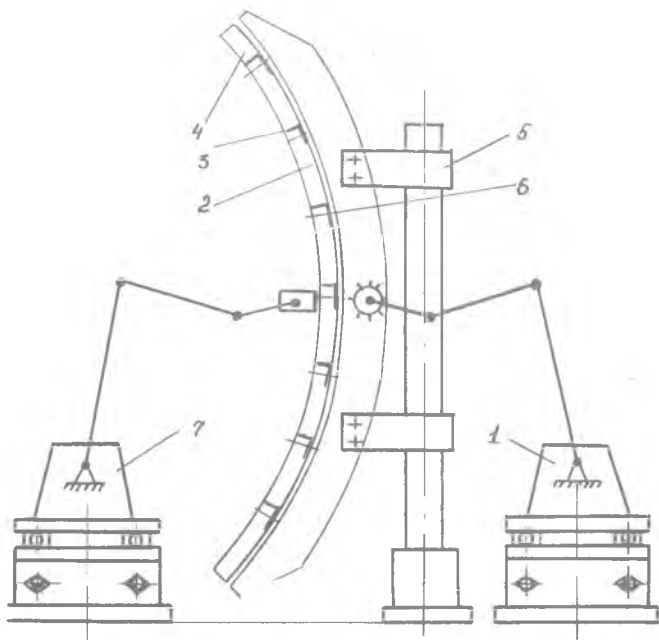
позиционер 4, удерживающий скобу в подвешенном положении, может осуществлять вертикальные перемещения узла подвески автомата, а также отвод его в сторону;

узел подвески 5 автомата 3, обеспечивающий качение скобы относительно вертикального уравновешенного положения в любом направлении.

Процесс клепки осуществляется следующим образом. Базирование объекта клепки 2 на поворотном столе I производится при отведенном в сторону автомате 3 для исключения взаимных повреждений. Затем автомат 3 выводит в положение, при котором ось его рабочих головок проходит через ось поворотного стола I, причем во избежание удара по объекту клепки 2 автомат 3 поднимают в верхнее положение. При опускании автомата 3 погрешности диаметров объектов 2, а также несососная установка на поворотный стол I 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 I 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 (рис. 2.4). В этом случае ДАРМ представляет собой совокупность устройства крепления объекта клепки в заданном положении с двумя кинематически независимыми роботами, каждый из которых несет рабочую головку. Согласованная работа промышленных роботов обеспечивается управлением от единой системы ЧПУ.

Преимуществами таких ДАРМ является 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.



Р и с. 2.4. 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

### 2.3. 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 большому количеству заклепочных соединений;

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

В качестве примеров встраивания можно рассматривать схемы рис. 2.1 и 2.4, считая, что устройства базирования объектов клепки замечены 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 сбои в ритме процесса сборки;

должно быть организовано централизованное снабжение и настройка режущего инструмента клепальных автоматов.

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 убиравшихся из зоны клепки элементов;

использование возможностей перемещения объекта сборки относительно приспособления для вывода несклепанных 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.

#### 2.4. 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, шангоуты, 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 (ЧПУ) 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.

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 пересмотра 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 настоящего времени цельной стройной концепции гибких клепально-сборочных систем не разработано. В связи с этим рассмотрим общие подходы на примере плоских каркасных узлов самолетов (табл. 2.1).


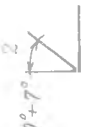






Плоские каркасные узлы (лонжероны, нервюры и т.п.) обладают общностью номенклатуры входящих в них деталей: обводообразующих поясов, стенок, подкрепляющих стоек, которые, несмотря на различия (в габаритах и толщинах стенок, формах и размерах поперечных сечений поясов, конфигурациях, размерах и формах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

- плоские поверхности стенок;

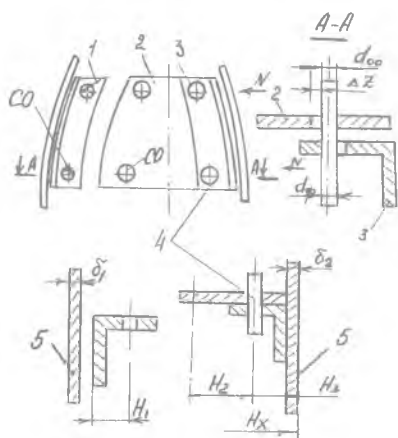
- плоскую полку обводообразующего пояса, предназначенную для соединения со стенкой;

- 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.

Анализ конструкций нервюр ТУ-154М

Наименование	Н е р в ю р ы			ОУК
	Кля	Стабилизатора	Центроплана	
Габариты, мм	360+1340x222+350	660+1550x63+315	1100+2500x400+1200	950+1114x160+330
Толщина стенки, мм	I	I	0,8+3,5	0,8+1,5
Кол-во составляющих стенок, шт.	2	2	I+3	I
Профиль поясов				
Габариты профиля пояса, мм	20x15 20x20	20x20	20x20 40x20 25x25 60x60	15x15 20x15 40x15
Профиль стенок				
Габариты профиля стойки, мм	20x20	20x15	40x20 30x20 50x20 45x30	20x15 15x10 30x20 25x20
Кол-во стоек на один лонжерон, шт.	4+14	6+14	8+12	5+7
Узлы навески (герметик) (др. элементы)	ДА/-/ДА	ДА/-/ДА	-/ДА/ДА	-/ДА/ДА

Наименование	Н е р в ы			ОЧК
	Кабля	Стабилизатора	Центроплана	
Тип, лабариты и кол-во заклепок на машину, шт.	ЗП: ДБ, 5-Н6, 7(702) Д4-Н8+10(1233) Д5-Н12(112)	ЗП: ДБ, 5-Н6+8(2911) ЗП: ДБ, 5-Н7+9(97) Д4-Н7+9, II(1341) Д5-Н10, II, I4(385) Д5-Н13(84)	ЗП: ДБ, 5-Н6+8(401) Д4-Н6-16; 20(10628) Д5-Н10+18(4432) Д6-Н15(9) ЗУ: ДБ, 6-Н5, II(19); Д5-Н12 Д4-Н7+9, II, I2, 20(48)	ЗП: ДБ, 5-Н6+8(5684) Д4-Н7+II(4528) Д5-Н10+I2(488) ЗУ: ДБ, 6-Н8(272) Д4-Н8(40)
ТРУДОЕМКОСТЬ КЛЕПКИ, Н-Ч	-23	28	204	124



Р и с. 2.5. Сборка плоского каркасного узла по сборочным отверстиям: 1, 3 - профили; 2 - стенка; 4 - фиксатор; 5 - обшивка

В самолетостроении для сборки таких узлов используются два метода: сборка по сборочным отверстиям (рис. 2.5) 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 (рис. 2.5). Возложив функции такого совмещения на робота, можно достигнуть

необходимой гибкости и производительности. Необходимо, однако, отметить, что поиск отверстий 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 заклепочных 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 заклепочных 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 условии его высокой производительности и универсальности, обеспечивающих программу выпуска групп узлов независимо от их принадлежности к освоённому 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 в КуАИ разработан на уровне ТЗ один из возможных вариантов комплекса (рис. 2.6), реализующего следующие принципы:

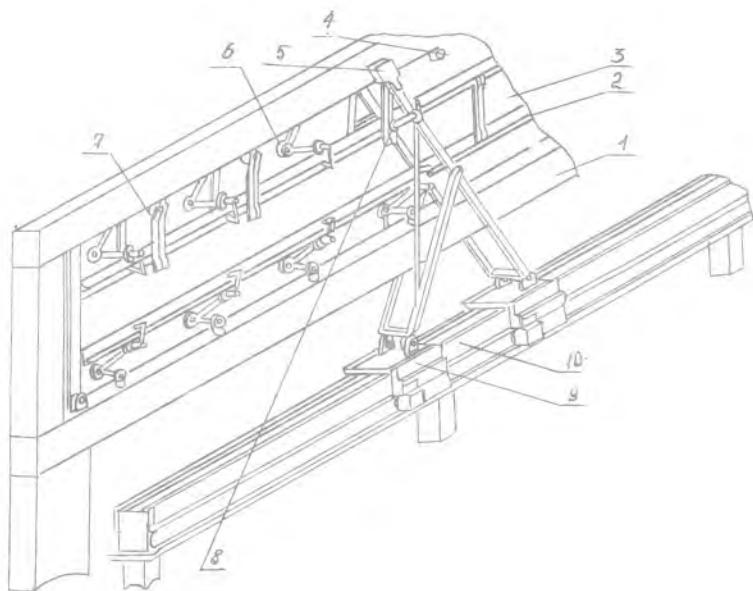
1. Сборочное приспособление предназначено для удержания в сборочном положении только обводообразующих поясов и стенок, которые устанавливаются вручную, а также для предварительного базирования подкрепляющих стоек.

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

3. Заклепки подаются к автомату по трубопроводу от специального блока по команде системы ЧПУ в соответствии с программой.

4. Выемка готового изделия осуществляется вручную.

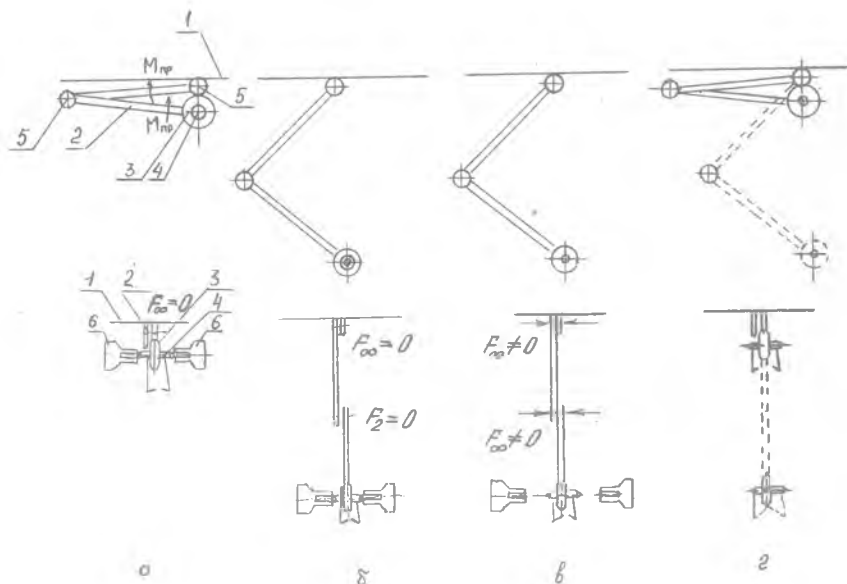
Перечисленные принципы подразумевают, что сборочное приспособление должно отвечать требованиям универсальности по габаритам узлов, по малкам обводообразующих профилей по фиксации профилей и стенок, обеспечивать отсутствие недоступных для автомата "мертвых зон", а также переналадку с помощью клепального автомата. Указанным требованиям отвечает сборочное приспособление (рис. 2.7), ложементы 3 которого размещены по жесткой раме I посредством плоских ме-



Р и с. 2.6. 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

ханизмов 2 и снабжены ловителями 4 для захвата их прижимами клепального автомата 6. При расторможенных подвижных соединениях 5 (рис. 2.7) 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 системой ЧПУ теоретическими значениями координат. По команде системы ЧПУ на переналадку (рис. 2,7,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



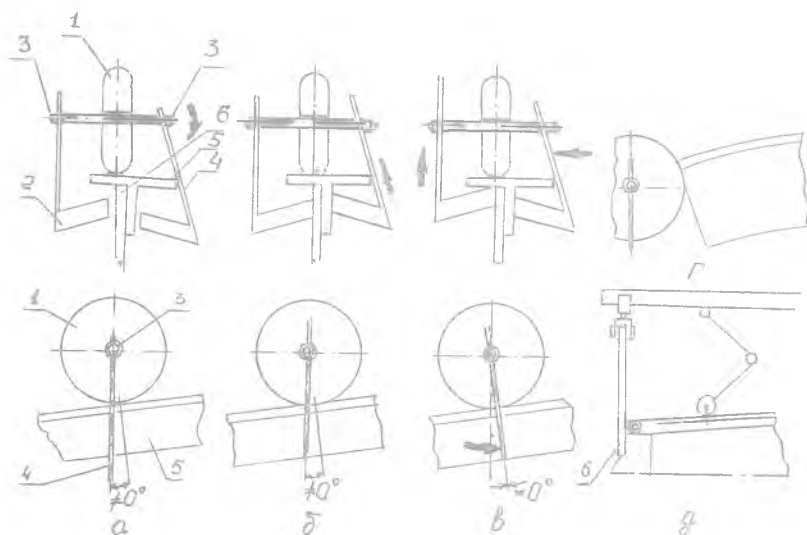


Р и с. 2.7. Схема переналадки сборочного приспособления: а - захват ложемента прижимами автомата в исходном положении, б - вывод ложемента в рабочее положение, в - отвод прижимов автомата, г - возврат ложемента в исходное положение; 1 - рама, 2 - плоский механизм, 3 - ложемент, 4 - ловитель, 5 - подвижное соединение механизма, 6 - прижимы клепального автомата

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 ложементами 3 (рис. 2.7,б) 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. Выведенный в рабочее положение ложемент 3 (рис. 2.7,в) фиксируется устройствами фиксации подвижных соединений 5 механизма 2, и прижимы 6 автомата могут быть отведены от ложемента 3. Таким образом, производится на-

ладка всех ложементов, на которые затем устанавливаются детали узла.



Р и с. 2.8. 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; 2 - обводообразующий базовый элемент; 3 - ловители; 4 - откидной прижим; 5 - пояс; 6 - стенка

Каждый из ложементов имеет (рис. 2.8) универсальный обводообразующий базовый элемент I 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 изготовления узлов для ЧПУ.

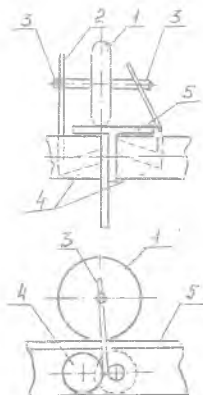
Установка стенки 6 (рис. 2.8,а) и пояса I на ложемент осуществляется вручную при откинутах прижиме 4, подвод которого исключает выпадение деталей из приспособления. Предварительное поджатие пакета к одному базовому элементу 2 (рис. 2.8,б) осуществляется путем перемещения прижима 4 в направляющих ловителя 3, после чего осуществляется окончательное базирование (рис. 2.8,в) за счет поджатия пояса 5 к обводообразующему базовому элементу I 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 (рис. 2.8,г), или за счет установки в приспособление шаблонов с ответными узлами фиксации (рис. 2.8,д)

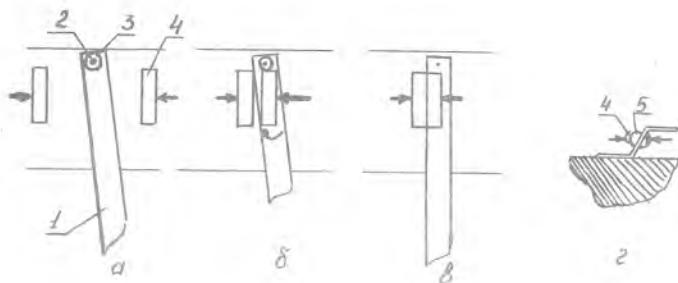
Отсутствие "мертвых" зон для доступа автомата обеспечивается (рис. 2.9) за счет подвижного опорного базового элемента 2 и прижимов ложемента, возникающих под воздействием прижимов автомата 4, которые просто "отодвигают" мешающие элементы приспособления в сторону, при этом опорный базовый элемент 2 сохраняет свои опорные функции, но он должен быть отведен от обводообразующего базового элемента (рис. 2.8,б).

Предварительное базирование подкрепляющих стоек I (рис. 2.9,а) осуществляется путем развешивания их направляющими отверстиями на ступенчатые координатные штыри 2, оси которых перпендикулярны базовой плоскости приспособления. Подвешенная таким образом стойка I 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 I к опорной поверхности ступенчатого штыря 2, при этом стойка I теряет все степени подвижности, кроме возможности поворота относительно оси штыря 2.

Привод размещенного на клепальном автомате дифференциального схвата



Р и с. 2.9. Схема обеспечения доступа автомата в "мертвые" зоны: 1 - обводообразующий базовый элемент; 2 - опорный базовый элемент; 3 - ловитель; 4 - прижимы клепального автомата; 5 - пояс



Р и с. 2.10. 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

обеспечивает сближение губок 4 по жестким траекториям, независимо от величины и направления перемещений каждой из них. В связи с этим закрытие схвата сопровождается разворотом стойки в положение, параллельное сборочному (рис. 2.10, б, в). Для обеспечения захвата профилей с наклонными элементами губки 4 оснащаются поворотными вкладышами 5 (рис. 2.10, г). После закрытия губок 4 схват заклинивается, что обеспечивает неизменность положения стойки I 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.

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, вывеска автоматических клепальных головок на сверильно-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. Желтов И.Н., Звягинцев В.А. Основы промышленной робототехники и ГАП: Учеб. пособие /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 56 с.
2. Белянин П.Н. Автоматические манипуляторы и робототехнические системы //Сер. Робототехнические системы для машиностроения. М.: Машиностроение, 1986.

Лысенко Юрий Дмитриевич  
Звягинцев Виктор Александрович  
Пешков Бронислав Павлович

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
КЛЕПАЛЬНО-СБОРОЧНЫХ РАБОТ  
НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНЫХ МАШИН

Редактор Т.К.К р е т и н и н а  
Техн.редактор Г.А.У с а ч е в а  
Корректор Н.Д.Ч а й н и к о в а

Свод. тем. пл. № 27

Подписано в печать 12.08.91. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага оберточная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 3,25.  
Усл.кр.-отт. 3,49. Уч.-изд.л. 3,2. Тираж 200 экз.  
Заказ № 3598. Цена 50 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Типография им. В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического  
объединения. 443099 Самара, ул. Венцека, 60.