

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. академика С. П. КОРОЛЕВА

# КЛЕПКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭЛЕКТРОНАГРЕВОМ ЗАКЛЕПОК

*Методические указания*

САМАРА 1994

Составитель Б.П.Пешков

УДК 621.757

Клейка композиционных материалов с электронагревом заклепок: Метод. указания /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Б.П.Пешков. Самара, 1994. 15 с.

Исследуется влияние электронагрева на качество заклепочных соединений деталей из композиционных материалов.

Предназначены для студентов дневного и вечернего обучения специальностей 1301, 1306, 1307 при изучении курса "Технология производства летательных аппаратов". Выполнены на кафедре производства летательных аппаратов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева

Рецензент В.Б.Венедиктов

Под редакцией Ю.Д.Лысенко

Ц е л ь р а б о т ы: практическое ознакомление с технологическим процессом, оборудованием и инструментом, применяемым при клепке с электронагревом заклепок.

### З а д а ч и р а б о т ы

1. Ознакомиться с технологическими возможностями и преимуществами клепки волокнистых композиционных материалов (ВКМ) с электронагревом.

2. Изучить принцип действия и устройство сварочной машины МТП 75-9.

3. Провести экспериментальную работу по клепке с электронагревом

### О с н а щ е н и е р а б о т ы

Машина для точечной сварки МТП 75-9, комплект электродов, калибры предельные гладкие для замеров диаметров отверстий, калибры предельные для замера диаметра и высоты замыкающих головок заклепок, образец, микрометр с коническими губками, напильник, заклепки с выступающей плоской закладной головкой  $d = 4,0$  мм из сплава В65 по ГОСТ 14797-75.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Объем заклепочных соединений в конструкциях современных и проектируемых в настоящее время перспективных летательных аппаратов остается достаточно высоким, несмотря на возрастающее применение соотв. конструкций, оребренных панелей и таких видов соединений как сварка и склеивание.

Заклепочные соединения при производстве самолетов, например, составляют за собой примерно 12% трудоемкости изготовления всего планера.

В современных летательных аппаратах основными материалами остаются алюминиевые сплавы. Одновременно наблюдается тенденция к увеличению объема применения ВКМ. Это обусловлено большим диапазоном их положительных свойств, позволяющих существенно уменьшить массу конструкций, повысить их жесткость, прочность, ресурс и надежность.

Однако для создания эффективных конструкций недостаточно иметь композиционные материалы с высокими характеристиками, необходимо реализовать эти характеристики в готовых конструкциях и обеспечить надежные методы соединения отдельных элементов конструкции.

Известно, что высокое качество заклепочных соединений деталей из конструкционных материалов достигается только при создании диаметрального натяга порядка 1,5...4,0%. Натяг характеризует увеличение диаметра отверстия в пакете под действием стержня заклепки при его осаживании в процессе формирования замыкающей головки и определяется следующим образом:

$$i = \frac{d - d_0}{d_0} \cdot 100\%, \quad (I)$$

где  $i$  — относительный натяг;  $d_0$  и  $d$  — начальный и конечный диаметры отверстия;  $\Delta = d - d_0$  — абсолютный натяг.

Если пренебречь упругими деформациями, то можно считать, что диаметр заклепки равен диаметру отверстия в соответствующем сечении. Тогда, измеряя диаметры заклепки в различных сечениях и зная начальный диаметр отверстия, можно определить соответствующий натяг по формуле (I).

Для образования заклепочных соединений в металлокомпозиционных узлах неприемлем традиционный подход. Это объясняется, прежде всего, существенной разницей физико-механических свойств ВКМ и металлов. Специфические свойства КМ, такие как малое относительное удлинение, хрупкий характер разрушения, возникающие при клепке деформации, могут привести к преждевременному нарушению целостности КМ. Кроме того, наличие остаточных напряжений в конструкциях из КМ определяет уровень концентрации напряжений в зоне отверстия при действии внешних нагрузок.

Необходимость ограничения радиальной деформации отверстия при осаживании стержня заклепки обусловила потребность применения специальных приемов клепки. Таким образом, клепка ВКМ требует решений, противоположных тем, которые найдены для клепки однородных материалов.

Вместо высоких натягов стержня заклепки в отверстиях, характерных для соединения однородных материалов, ВКМ требуют нормированных натягов до 0,5...1,5% [1] в зависимости от природы и свойств материалов. При высоких натягах начинается разрушение матрицы ВКМ и падает работоспособность соединения. В то же время для обеспечения необходимой жесткости соединения и равномерной загрузки всех силовых точек некоторый натяг необходим. Для удовлетворения столь противоречивых требований разработан ряд решений и продолжается поиск новых.

Все они призваны обеспечить плотную посадку стержня заклепки в отверстие и формирование замыкающей головки заклепки при минимальной раздаче прилегающей к ней части стержня заклепки. Достигается это различными способами, как конструктивными, так и технологическими. Одним из таких способов является клепка с электронагревом заклепок, позволяющая снизить потребные усилия расклепывания заклепок в 3...5 раз по сравнению с холодной клепкой, уменьшить раздачу заклепок и натяг, значительно снизить деформации соединений. Низкая прочность и высокая пластичность материала заклепок при температурах горячего деформирования способствует правильному деформированию замыкающих головок заклепок и хорошему заполнению отверстий. При этом раздача стержня не вызывает разрушений стенок отверстий в КМ.

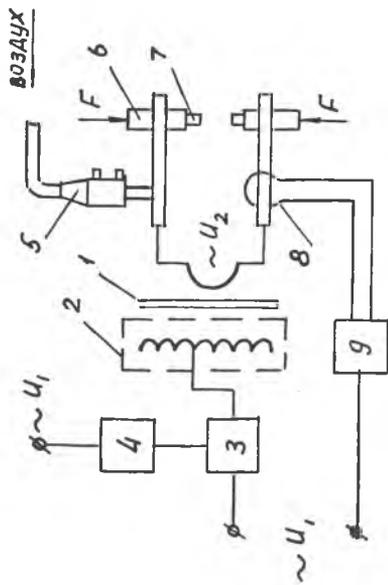
#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Краткое описание и техническая характеристика машины МТП 75-9

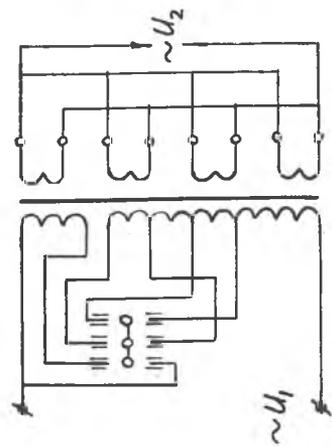
В работе используется машина для точечной сварки сталей и титановых сплавов МТП 75-9 (рис. 1). Она состоит из сварочного трансформатора 1, переключателя ступеней 2, прерывателя сварочного тока 3, регулятора времени 4, механизма сжатия деталей 5, электродержателей 6 и электродов 7.

Сварочный трансформатор броневого типа: первичная обмотка секционирована (рис. 2) [2] с возможностью включения от 64 до 112 витков, вторичная обмотка содержит один виток. Напряжение холостого хода трансформатора изменяется ступенчато с помощью трех вильчатых переключателей, число ступеней 8.

Число витков первичной обмотки трансформатора  $w_1$ , напряжение холостого хода  $U_{2xx}$  и фактические токи по ступеням регулирования приведены в табл. 1.



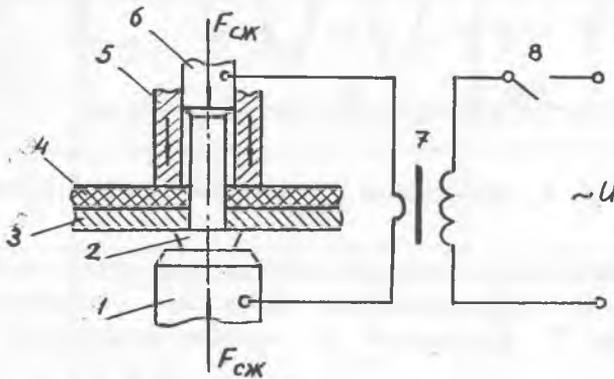
Р и с. 1. Функциональная схема сварочной машины МП 75-9: 1 - трансформатор; 2 - переключатель ступеней; 3 - преобразователь сварочного тока; 4 - регулятор времени дуга сварки РВЗ-7; 5 - пневматический механизм сжатия деталей; 6 - электродержатель; 7 - электрод; 8 - торoidal-датчик прибора ДТС; 9 - прибор ДТС



Р и с. 2. Схема сварочного трансформатора машины МП 75-9

Номер ступени	Шифр включения	$w_1$	$U_{2xx}$ , В	$I_{\phi}$ , А
1	2-2-2	112	3,12	7500
2	1-2-2	106	3,36	8000
3	2-1-2	98	3,62	8700
4	1-1-2	92	3,96	9500
5	2-2-1	84	4,37	10500
6	1-2-1	78	4,88	11700
7	2-1-1	70	5,43	12800
8	1-1-1	64	6,24	15000

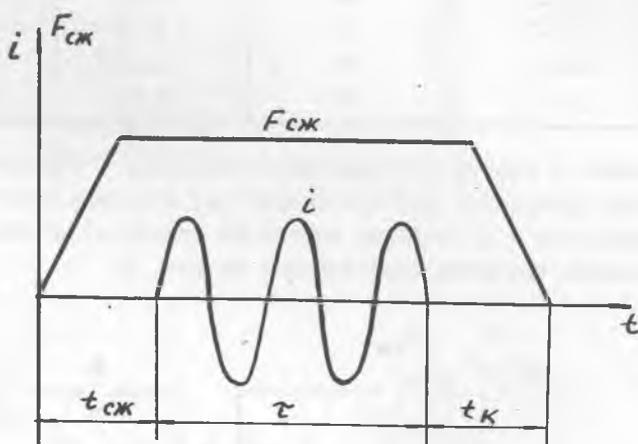
При клепке с электронагревом через заклепку с помощью электродов-пуансонов пропускают электрический ток, в результате чего заклепка нагревается и в нагретом состоянии осаживается. Схема процесса осаживания заклепки представлена на рис. 3.



Р и с. 3. Процесс осаживания заклепки: 1 - электрод нижний; 2 - заклепка; 3, 4 - соединяемые детали; 5 - прижимная втулка; 6 - электрод верхний; 7 - трансформатор; 8 - контактор

Процесс термоимпульсной клепки осуществляется следующим образом. Заклепку 2 помещают в подготовленное отверстие пакета соединяемых деталей 3 и 4 и устанавливают на опорный электрод-поддержку 1. При нажатии педали МТП 75-9 подвижная прижимная втулка 5 осуществляет сжатие пакета, устраняя зазор между деталями 3 и 4, а затем расклепываю-

щий электрод 6 создает усилие  $F_{сж}$  на выступающий конец заклепки. При достижении  $F_{сж}$  определенной заданной величины контактор 8 (синхронный прерыватель сварочного тока) подключает силовой трансформатор к питающей сети. Через электроды 1, 6 и заклепку 2 при этом протекает импульс электрического тока заданной величины. По истечении времени импульса заклепка разогревается до пластического состояния и осаживается под действием  $F_{сж}$ .



Р и с. 4. Циклограмма клепки заклепками из сплава В65

Продолжительность отдельных составляющих цикла осаживания заклепки (рис. 4) – предварительное сжатие  $t_{сж}$ , продолжительность импульса тока  $\tau$  и проковка  $t_{к}$  – задаются настройкой регулятора времени.

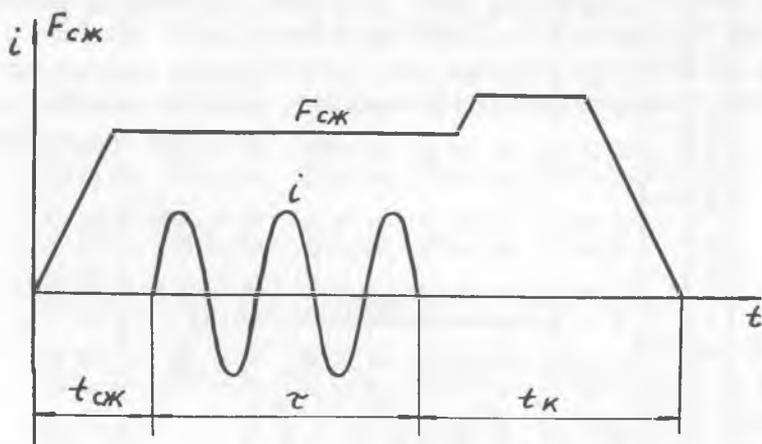
Давление, потребное для расклепывания стальных и титановых заклепок, подается вслед за прохождением импульса тока (рис. 5) для того, чтобы выравнять температуру выступающего конца заклепки и ее стержня для получения требуемого натяга в отверстии.

При нагреве температура материала заклепки в зоне образования замыкающей головки должна соответствовать температуре горячего деформирования, а время нагрева должно быть мало, чтобы свести до минимума температурное воздействие заклепки на КМ. При электронагреве температура зависит от ряда факторов, основными из которых являются: сила тока  $I_{\phi}$ , продолжительность импульса  $\tau$ , материал, диаметр  $d$ ,

Режимы клепки различных соединений с электронагревом заклепок  
 током длительностью  $\tau = 0,1$  с

№ п/п	Соединение	Материал заклепки, Ø 4 мм	$t_3, ^\circ\text{C}$	Потребные значения	$l$ - длина заклепки, мм							
					8	9	10	11	12	13	14	15
1	СТ4-1Л1, 2+ХМЛ-2	I2X18H9T Нормаль 3552A	1000	$U_{K3}$	3,8	4,2	4,6	5,1	5,6	6,0	6,5	7,0
				$U_{\Phi}$	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
				$t_2$	750	750	750	760	800	840	870	870
2	СТ4-1Л1, 2+ХМЛ-2+ +ОТ4-1Л1, 2	I2X18H9T Нормаль 3552A	1000	$U_{K3}$	4,0	4,3	4,6	5,0	5,5	6,0	6,5	6,9
				$U_{\Phi}$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9
				$t_2$	700	700	700	720	740	750	780	780
3	ОТ4-1Л1, 2+СК-9Ф	ВТ-16 ОСТ I.11967- 74	1000	$U_{K3}$	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	
				$U_{\Phi}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
				$t_2$	760	770	780	780	800	800	800	
4	ОТ4-1Л1, 2+СК-9Ф+ +ОТ4-1Л1, 2	ВТ-16 ОСТ I.11967- 74	1000	$U_{K3}$	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	
				$U_{\Phi}$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	
				$t_2$	770	770	760	750	720	700	650	
5	АМЛ-6Л1, 5+ХМЛ-2	В65 Нормаль 3547A	400	$U_{K3}$	5,2	5,0	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	
				$U_{\Phi}$	4,75	4,5	4,25	4,0	3,8	3,6	3,5	
				$t_2$	200	270	350	410	440	460	470	

длина  $l$  заклепок, конструкция склепываемого соединения и усилие сжатия электродов  $F_{ск}$ .



Р и с. 5. Циклограмма клепки заклепками из материалов I2X18H9T и BT16

В качестве примера режимы клепки различных соединений титановых сплавов OT4-I, OT4 со стеклопластиковыми СК-90, ФН, СТП-97ВК и углепластиком КМУ-2 с электронагревом заклепок током длительностью  $\tau = 0,1$  с представлены в табл. 2. При этом  $t_2$  - температура части заклепки, находящейся в соединении,  $t_3$  - температура в зоне замыкающей головки заклепки.

Снижение усилия при осаживании заклепки является одним из основных преимуществ способа клепки с электронагревом заклепок. Потребные усилия для осаживания заклепок  $\phi$  4 мм из материала I2X18H9T приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

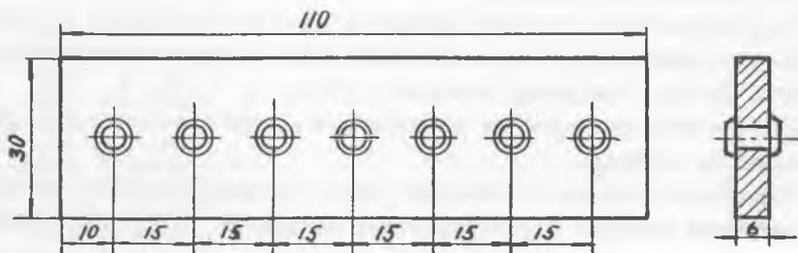
Потребные усилия для осаживания заклепок из материала I2X18H9T

Диаметр заклепки, мм	$P, H,$ при температуре $t_3$ заклепки, °C						
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
4,0	14500	13000	12000	11000	10000	9000	8000
3,5	11000	10000	9200	8600	7600	6900	6100

Как видно из таблицы, при кленке заклепки  $\phi$  4 мм при  $t_3 = 1200^\circ$  усилие осаживания  $P = 10000$  Н, в случае же холодного осаживания такой же заклепки  $P = 58000$  Н. Для заклепок  $\phi$  4 мм из материала В6 при  $t_3 = 400^\circ\text{C}$  усилие осаживания  $P = 6000$  Н, а при холодном осаживании  $P = 21000$  Н.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Работа проводится на образце (рис. 6), представляющем собой пластинку из сплава Д16АМЛ6. Образец подается с просверленными и распеланными отверстиями  $d = (4,100 \pm 0,005)$  мм.



Р и с. 6. Образец для кленки

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проработать инструкцию. Ознакомиться с конструкцией сварочной машины без включения сварочного тока. Включить и отрегулировать контрольные приборы.
2. Подготовить сварочную машину к работе, убедившись в следующем:
  - электроды установлены без перекосов;
  - электроды опускаются плавно;
  - вода проходит через охлаждающую систему;
  - напряжение в сети находится в необходимых пределах;
  - сварочный ток включается только после того, как склепываемые детали сжаты электродами с заданным усилием.
3. Ознакомиться с конструкцией образца (см. рис. 6) и табл. 4 зарисовать их в отчете.
4. Зачистить анодный слой на торцах стержня и закладной головки (для шести заклепок).

5. Пронумеровать отверстия в образце.
6. Установить в образец три заклепки и произвести их осаживание на трех режимах сварочной машины, указанных преподавателем.
7. Проверить плоским калибром и измерить штангенциркулем диаметр и высоту замыкающих головок заклепок, выбрать режим работы сварочной машины, обеспечивающий требуемые параметры заклепочного соединения, и результаты измерений занести в табл. 4.
8. На выбранном режиме произвести осаживание еще трех заклепок и убедиться в стабильности получаемого соединения.
9. Пронумеровать последние три заклепки.
10. Надрезать пластины в диаметральной плоскости последних трех заклепок и вынуть заклепки.
11. Микрометром измерить диаметры стержней заклепок в трех сечениях – на расстоянии 0,5 мм от закладной и замыкающей головок и в середине. Данные измерений занести в табл. 4.
12. Рассчитать значения натягов для каждого сечения и результаты занести в таблицу.
13. Сделать выводы о влиянии режима сварочной машины на параметры замыкающей головки и распределение натяга по толщине образца.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Перечень используемого оборудования.
2. Схема осаживания заклепки.
3. Эскиз образца.
4. Расчетные формулы, таблицы.
5. Выводы по результатам работы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем особенность ВКМ с точки зрения выполнения заклепочного соединения?
2. Каковы основные узлы сварочной машины МТП 75-9?
3. Что такое натяг и от чего он зависит?
4. Как определить величину относительного натяга?
5. Какие натяги требуются для соединений из металлических материалов и ВКМ и почему?



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов Е.Б. Клепка композиционных материалов с электронагревом заклепок //Авиационная промышленность, 1982. № 7. С. 8-10.
2. Бобринский Ю.Н., Сергеев Н.П. Устройство и наладка контактных сварочных машин. М.: Машиностроение, 1967.
3. Абибов А.Л. и др. Технология самолетостроения: Учебник для авиационных вузов. М.: Машиностроение, 1982.

КЛЕПКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С ЭЛЕКТРОНАТРЕВОМ ЗАКЛЕПОК

Составитель Пешков Бронислав Павлович

Редактор Л.Я.Чегодаева  
Техн.редактор Г.А.Усачева  
Корректор Н.С.Куприянова

Подписано в печать 27. Iк. 94. Формат 60x84<sup>I</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 0,7. Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,6.  
Тираж 100 экз. Заказ 544. Арт.С-39 мр/94.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

ИПО Самарского государственного аэрокосмического  
университета имени академика С.П.Королева.  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.