

©Мовшович А.Я., Изотова К.А., Черная Ю.А., Бондарь О.В.

## **КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ (УСРП-С)**

### **1. Введение**

Для оснащения сборочно-сварочных операций в условиях серийного производства эффективным видом технологической оснастки являются универсальные сборно-разборные приспособления.

Конструктивной особенностью системы универсальных сборно-разборных приспособлений является наличие сквозных овальных пазов в элементах, через которые последние соединяются между собой [1]. Геометрические размеры и расположение сквозных пазов обеспечивают установку и закрепление элементов УСРП-С в любых местах и положениях, что значительно расширяет и облегчает возможности конструирования приспособлений.

Стабильность размеров приспособлений УСРП-С, а с тем самым и точность сборки сварных узлов в этих приспособлениях, определяется двумя основными факторами:

- а) жесткостью самих элементов УСРП-С (в первую очередь базовых и опорно-корпусных);
- б) жесткостью их соединения и фиксации в приспособлениях.

Жесткость элементов УСРП-С обеспечивается их конструкцией (необходимой толщиной, наличием ребер жесткости), выбором соответствующей марки стали и вида термической обработки.

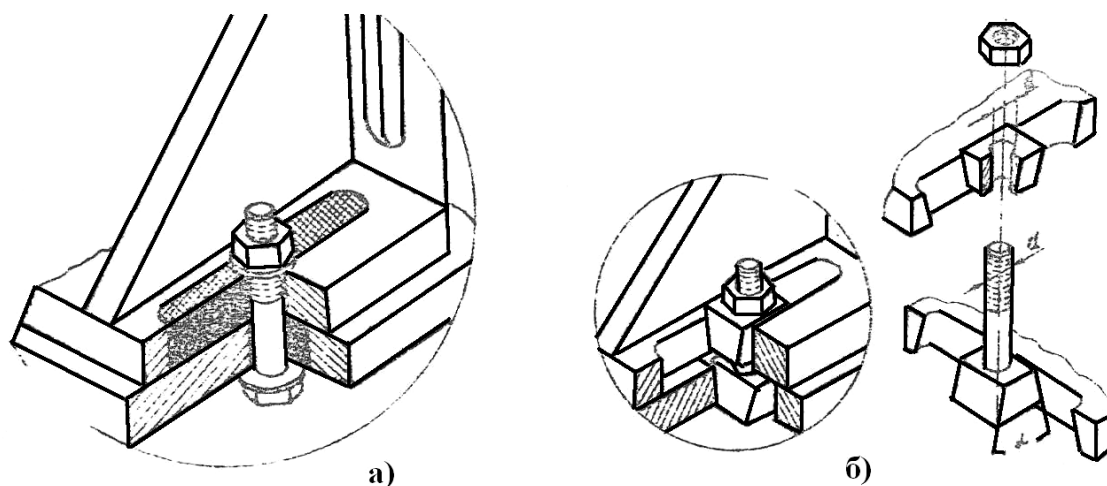
Жесткая фиксация элементов УСРП-С между собой достигается использованием безззорного или клинового соединения.

## 2.Основной раздел работы

Беззазорное соединение элементов УСРП-С обеспечивается путем заполнения сквозных овальных пазов, в которых установлены стандартные крепежные элементы, быстротвердеющим наполнителем. В результате чего устраняются зазоры между поверхностями пазов и крепежных элементов и последние работают как установочные пальцы или штифты.

При клиновом соединении в элементах УСРП-С пазы выполняются конусными, в которые устанавливаются наборы специальных крепежных элементов, состоящие из болтов с призматической (или конусной) головкой, клиновых сухарей и гаек. При создании необходимого усилия затяжки на рабочих клиновых поверхностях элементов соединения возникают довольно значительные силы трения, препятствующие их относительно перемещению при действии внешних усилий.

Сущность указанных видов соединений показана на рис. 1.



**Рис. 1** – Виды соединений элементов УСРП-С:

- а) беззазорное,
- б) клиновое

При клеевом соединении жесткость фиксации элементов УСРП-С в приспособлении обеспечивается в том случае, когда внешние силы, сдвигающие элементы относительно друг друга, уравниваются

возникающими в соединении силами трения, то есть условием работоспособности клинового соединения является условие:

$$P_{\max} \leq \Sigma P_{mp},$$

где  $P_{\max}$  – расчетная величина силы, сдвигающей элементы относительно друг друга;

$\Sigma P_{mp}$  – суммарная величина сил трения, действующих в соединении.

Как видно из рис. 2, силами, препятствующими относительно смещению элементов, являются:

$F_1 = 2Q \cdot k_{mp}$  – сила трения между поверхностями соединяемых элементов;

$F_2 = N \cdot k_{mp}$  – сила трения между поверхностями клиновых элементов соединения,

где  $Q$  – усилие затяжки резьбового соединения

$N = \frac{Q}{2 \sin \alpha}$  – сила нормального давления между поверхностями клиновых

элементов, возникающая от затяжки резьбового соединения;

$k_{mp}$  – коэффициент трения;

$\alpha^\circ$  – угол конусности клиновых элементов соединения.

Соединение элементов УСРП-С осуществляется, как минимум, двумя крепежными наборами, в каждом из которых действует по две силы трения  $F_2$ , следовательно:

$$\Sigma R_{mp} = F_1 + 4F_2 = 2Q \cdot k_{mp} + \frac{2Q \cdot k_{mp}}{\sin \alpha} = 2Q \cdot k_{mp} \left( 1 + \frac{1}{\sin \alpha} \right);$$

Расчетная величина силы, сдвигающей элементы, представляет собой действующую рабочую нагрузку, умноженную на коэффициент запаса, то есть

$$P_{\max} = P_{\text{раб}} \cdot k_{з.н}$$

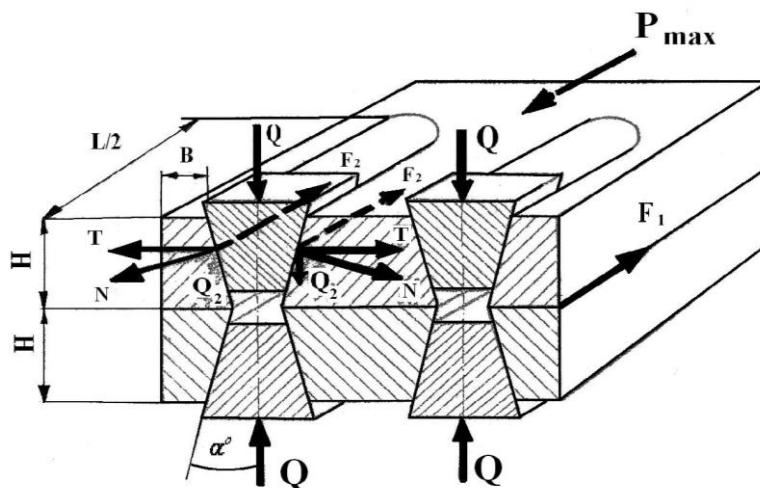
Таким образом, условие работоспособности клинового соединения может быть выражено:

$$P_{\text{раб}} \cdot k_{з.н} \leq 2Q \cdot k_{mp} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\sin \alpha} \right),$$

отсюда следует, что

$$\sin \alpha \leq \frac{2Q \cdot k_{mp}}{P_{раб} \cdot k_{з.н} - 2Q \cdot k_{mp}}$$

Рассчитанный по данному выражению угол конусности  $\alpha$  для соединения элементов УСРП-С1 (с крепежом М6) составляет 3-5°.



**Рис. 2** – Схемы сил, действующих в клиновом соединении

Из рис.2 следует, что клиновое соединение нормально работает при наличии необходимого зазора между внутренними торцевыми поверхностями крепежных элементов соединения (клинового сухаря и головки специально болта). Величина этого зазора при заданном усилии затяжки определяется жесткостью внешней перемычки паза, который представляет собой балку, защемленную с двух концов и нагруженную сосредоточенной силой  $N$ , приложенной к середине пролета балки. Максимальный изгибающий момент, действующий в опасном сечении (в плоскости действия силы), и максимальный прогиб балки в этом сечении определяются выражениями:

$$M_{изг.д.макс} = \frac{N \cdot L}{8} = \frac{Q \cdot L}{16 \sin \alpha}$$

$$f_{макс} = \frac{N \cdot L^3}{192E \cdot I} = \frac{Q \cdot L^3}{384E \cdot I \cdot \sin \alpha}$$

где  $L$  – длина балки, равная длине паза элемента УСРП-С;

$E$  – модуль упругости материала элементов;

$I$  – момент инерции сечения балки.

При заданном значении толщины элементов  $H$  и длины паза  $L$  ширина перемычки  $B$  определяется из условий жесткости и прочности при нагибе.

Из условия жесткости:

$$f_{\max} \leq [f]; \quad \frac{12Q \cdot L^3}{384E \cdot H \cdot B^3 \sin \alpha} \leq [f];$$
$$B \geq \sqrt[3]{\frac{Q \cdot L^3}{32E \cdot H \cdot [f] \cdot \sin \alpha}}$$

Из условия прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\text{изг. max}}}{W} \leq [\sigma]; \quad \frac{6 \cdot Q \cdot L}{168^2 \cdot H \cdot \sin \alpha} \leq [\sigma];$$
$$B \geq 0.25 \sqrt{\frac{6 \cdot Q \cdot L}{H \cdot [\sigma] \cdot \sin \alpha}},$$

где  $W = \frac{B^2 \cdot H}{6}$  – момент сопротивления сечения балки.

Рассчитанная по этим формул ширина перемычки  $B$  (при данных  $H = 10$  мм;  $L = 40$  мм) для элементов УСРП-С1 составила 8 мм.

Для проверки работоспособности рассмотренных выше вариантов соединения элементов УСРП-С проводились экспериментальные исследования с целью выбора наиболее оптимального вида соединения. В качестве критерия при оценке работоспособности безззорного и клинового соединений принималась работоспособность пальцевого соединения, наиболее часто применяемого в специальных приспособлениях, в частности:

- по посадке Н9/н9;
- по посадке Н7/н6.

Номинальные диаметры пальцев и установочных отверстий были выбраны в соответствии с шириной овальных пазов элементов УСРП-С и составляли 6 мм.

Исследования работоспособности безззорных и клиновых соединений проводились при статическом и динамическом нагружении. Для статических испытаний использовалась экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 3.

Усилие, создаваемое винтовым прижимом, через динамометр сжатия передавалось верхнему образцу, обеспечивая его перемещение относительно нижнего образца, закрепленного неподвижно на жестком основании. Это перемещение (податливость соединения) фиксировалось при помощи индикаторов, установленных на нижнем образце.

Для безззорных соединений определялось перемещение в продольном и поперечном (по отношению к направлению действия нагрузки), направлениях, для клиновых соединений кроме этого замерялся прогиб внешней перемычки паза в опасном сечении и возможное смещение нового сухаря вдоль паза. Для испытаний безззорных соединений пазы в образцах выполнялись прямыми, для клиновых соединений – конусными.

Величина максимальной нагрузки, действующей на исследуемые виды соединения, определялась из условия 3-х кратного увеличения максимального усилия зажима для элементов УСПС-С составляла 5 кН.

Нагружение производилось ступенчато с интервалами 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0 ; 3,0 ; 4,0 в 5,0 кН.

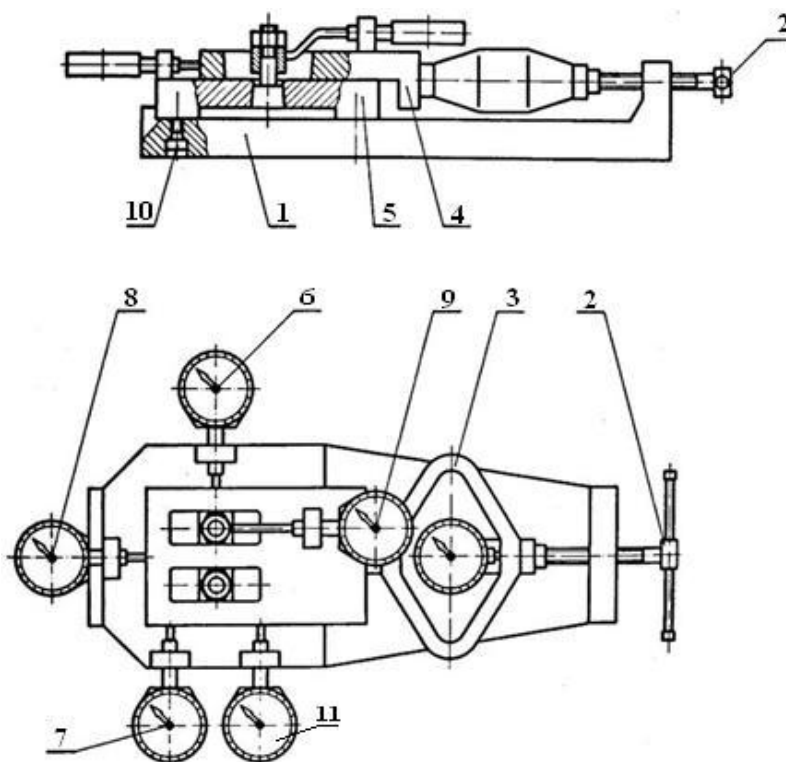
Для замера этих усилий использовался динамометр сжатия ДОСМ-3-1, податливость соединений и прогиб перемычки паза измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 и 0,01 мм.

Затяжка клинового соединения производилась посредством динамометрического тарировочного ключа, испытания проводились при усилиях затяжки, равных 2 и 3 кН.

С учетом требований, предъявляемых к наполнителям, в результате проведенного анализа для испытаний работоспособности безззорных соединений были выбраны следующие виды наполнителей:

- а) силиконовая композиция;
- б) пластмасса АСТ-Т;
- в) легкоплавкие металлы и их сплавы.

Силоксановая композиция готовится перемешиванием сухой смеси, кварцевого песка и жидкого стекла. Весовой состав сухой молотой смеси и композиции приведен в табл. 1.



**Рис. 3** – Установка для статистических испытаний УСПС: 1 – основание; 2 – нажимной винт; 3 – динамометр; 4, 5 – верхний и нижний образец; 6, 9 – индикаторы часового типа; 10 – винт

**Таблица 1** – Весовой состав наполнителей, %

Состав сухой молотой смеси, %			Состав композиции, %		
Доменный шлак	Кварцевый песок	Кремнефтористый натрий	Сухая молотая смесь	Жидкое стекло	Кварцевый естественный песок
35	40	25	52	33	15

Из легкоплавких металлов и их сплавов в качестве наполнителей были выбраны:

- пластмасса АСТ-Т;
- олово марки 03 по ГОСТ 860-60;
- висмут марки В и I по ГОСТ 10923-64;

- сплав висмута и олова в весовом соотношении 1:1 (виол);
- припой ГОСТ-61 по ГСС7 1499-70;
- сплав НИАТ-23 (48% висмута, 32% свинца, 15% олова, 5% сурьмы);
- на основе смола ЭД-20.

В ходе предварительных испытаний работоспособных соединений с использованием в качестве наполнителя силиконовой композиции и пластмассы АСТ-Т исследовалось влияние следующих факторов:

1. Объем залитого в пазы наполнителя. Опытные образцы для этого выполнялись 3-х типоразмеров с высотой рабочей части 10,15 и 20 мм.
2. Времени и режимов отверждения.
3. Угла между направлением действия сил и осью пазов.

В результате предварительных испытаний было установлено, что увеличение высоты рабочей части опытных образцов обеспечивает более жесткое соединение, однако при высоте образцов свыше 10 мм наблюдалось образование раковин и непроливов. Изменение времени и режимов отверждения наполнителей практически не влияет на работоспособность соединений. Выдержка в печи при температуре 100 °С привела к образованию трещин в наполнителе, поэтому подогрев в данном случае не целесообразен. Так как площадь смятия и удельное давление при заданной нагрузке для одних и тех же образцов остаются постоянными, то изменение направления действия силы не влияет на работоспособность безазорного соединения.

В связи с этим последующие испытания работоспособности безазорных соединений с использованием выше перечисленных наполнителей проводились при высоте рабочей части образцов, равной 10 мм, и при отверждении в естественных условиях.

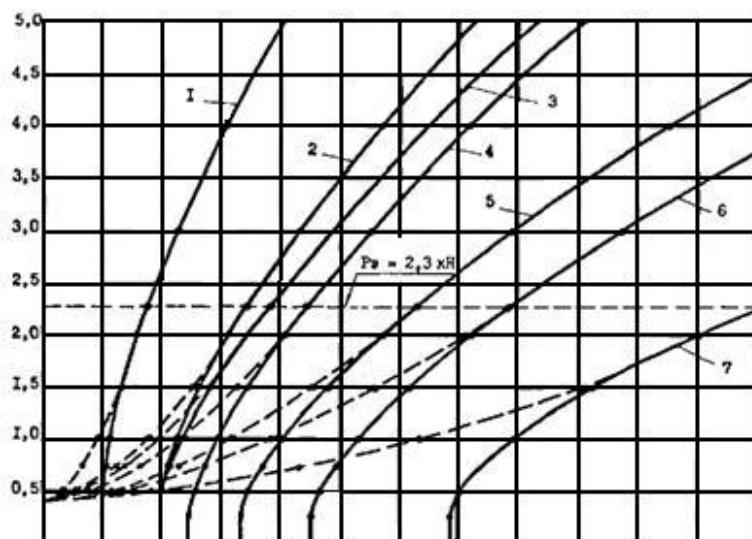
Результаты испытаний представлены на рис. 4.

Как видно из графика, при нагружении в диапазоне рабочих нагрузок (до 2,3 кН) почти все исследуемые виды наполнителей (за исключением висмута и припоя ПОС-61) обеспечивают довольно жесткое соединение, не ниже жесткости пальцевых соединений.



Определяющим фактором при оценке работоспособности клинового соединения является величина перемещения образцов путем выбора зазора в соединении «болт-сухарь». Для оценки влияния зазора в соединении исследовалось два конструктивных варианта выполнения клиновых сухарей (рис. 4).

Соединение неразрезных клиновых сухарей и специальных болтов М6 осуществлялось по посадке Н7/н7, что обеспечивает максимально возможный зазор в соединении 0,03 мкм. Во всех исследуемых видах соединений конусные пазы в опытных образцах и клиновые сухари выполнялись с углом скоса  $\alpha=4^\circ$ .



**Рис. 4** – Податливость беззазорных соединений при статическом нагружении: 1 – соединение образцов на основе сплава ВИОЛ; 2 – то же, на основе пластмассы АСТ-Т; 3 – то же, на основе сплава НИАТ-24; 4 – то же, на основе смолы ЭД-20; 5 – то же, на основе олова; 6 – то же, на основе припоя ПОС-61; 7 – то же, на основе висмута, — — — — — первое нагружение образцов; — — — — — разгрузка и последующие нагружения

На рис. 5 представлены результаты статических испытаний на работоспособность при различных усилиях затяжки резьбовых соединений.

Для оценки влияния зазоров на податливость и выбора рационального варианта были исследованы три конструктивных исполнения клиновых соединений:

а – соединение с неразрезным сухарем и специальным болтом с клиновым подголовником;

б – соединения с разрезными клиновыми сухарями и стандартным болтом стандартной точности;

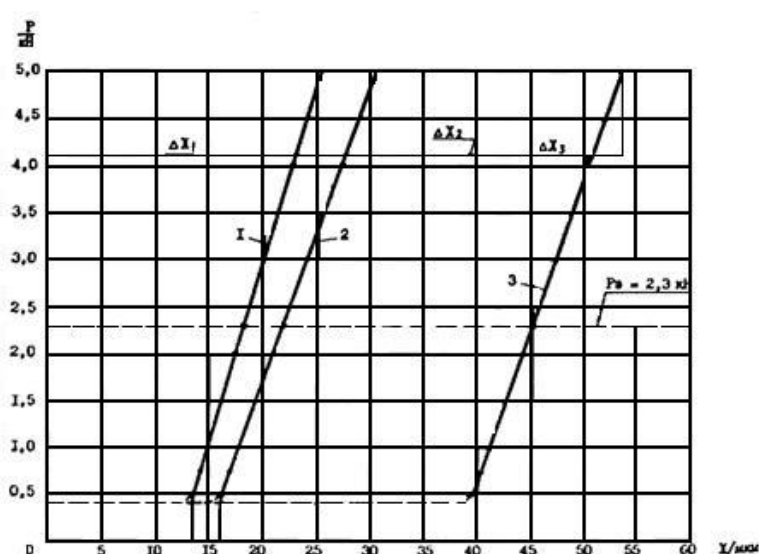
в – соединение с неразрезными клиновыми сухарями и стандартным болтом нормальной точности.

Как следует из графика наиболее работоспособными среди клиновых соединений являются соединения, выполненные по схемам «а» и «б», податливость которых при рабочей нагрузке (2,3 кН) соответственно равно 19 мкм и 22 мкм. Податливость соединения «в» находится на уровне эталонного пальцевого соединения с посадкой Н9/н9 и равна 45 мкм.

$\Delta x_1$  – податливость обусловленная наличием зазоров между поверхностями соединения;

$\Delta x_2$  – податливость, обусловленная пластическими деформациями в зоне контакта поверхностей крепежных элементов соединения;

$\Delta x_3$  – податливость, обусловленная упругими деформациями элементов соединения.



**Рис. 5** – Податливость клиновых соединений при статическом нагружении: 1 – соединение образцов по схеме «а», 2 – то же, по схеме «б», 3 – то же, по схеме «в»; —• —• —• —• - первое нагружение образцов; •————•————• - разгрузка и последующие нагружения

Следует отметить, что при многократном использовании разрезных сухарей наблюдались довольно значительные остаточные деформации.

Испытания беззазорных и клиновых соединений на работоспособность при динамическом нагружении проводились на универсальной гидравлической машине МУП-50. В ходе испытаний образцы подвергались сжатию переменной по величине нагрузкой в течение заданного времени, определяемого числом циклом нагружения.

Величина минимальной нагрузки, создаваемой пульсатором машины (предварительное нагружение) составляла 0,5 кН, величина максимальной нагрузки, при которой производились испытания, составляла 1,5; 2,5; 3,5 и 5 кН.

Число циклов нагружений, при которых производился замер перемещений, составляло 2500, 5000, 7500 и 10000.

Длительность цикла нагружения определялась оборотами привода пульсатора и в ходе испытаний оставалась постоянной и равной 330 циклам в минуту.

Результаты динамических испытаний беззазорного соединения с использованием в качестве наполнителя сплава олова с висмутом представлены в табл. 2.

**Таблица 2** – Результаты динамических испытаний беззазорного соединения

Число циклов нагружения	Перемещение опытных образцов, мкм			
	$P_{\max}=1,5$ кН	$P_{\max}=2,5$ кН	$P_{\max}=3,5$ кН	$P_{\max}=5$ кН
2500	25,0	95,0	165,0	415,0
5000	30,0	102,0	192,0	482,0
7500	35,0	115,0	205,0	545,0
10000	39,0	125,0	220,0	600,0

Результаты динамических испытаний клинового соединения с призматическими неразрезными сухарями представлены в табл. 3.

При динамических нагрузках податливость клиновых соединений увеличивается незначительно. Это происходит за счет некоторого прироста объемов пластической деформации составляющей  $\Delta x_2$ .

**Таблица 3** – Результаты динамических испытаний клинового соединения

Число циклов нагружения	Перемещение опытных образцов, мкм			
	$P_{\max}=1,5$ кН	$P_{\max}=2,5$ кН	$P_{\max}=3,5$ кН	$P_{\max}=5$ кН
2500	14,0	16,0	18,0	21,0
5000	15,0	17,0	20,0	24,0
7500	16,0	18,0	23,0	27,0
10000	20,0	22,0	25,0	30,0

Применение схемы универсально сборно-разборных приспособлений позволило: на 70 % снизить потребность в специальной оснастке, трудоемкость при этом снизилась на 60 %, а металлоемкость в 1,5-2,0 раза.

### **Выводы**

1. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения беззазорного и клинового соединения для обеспечения жесткой фиксации элементов УСПС-С в приспособлениях.

2. В качестве наполнителя для беззазорного соединения целесообразно использовать сплав олова с висмутом в весовом соотношении 1:1.

3. Из предлагаемых вариантов клинового соединения особого внимания заслуживает соединение с призматическими сухарями. Для уменьшения зазора в соединении «болт-сухарь» призматические сухари рекомендуется делать разрезными, обеспечивая при этом необходимое усилие затяжки  $Q = 3$  кН.

4. Для практического использования целесообразно применять клиновое соединение, которое по сравнению с беззазорным обеспечивает простоту и минимальное время сборки приспособления.

### **Список использованных источников:**

1. Глущенко В. И. Система обратимой переналаживаемой сборочно-сварочной оснастки для серийно производства / В. И. Глущенко, Л. С. Филатов, А.П. Лазаренко // ПТБ. – 1979. – № 11.

2. Филатов Л.С. Исследование жесткости базовых и опорно-корпусных элементов УСПС-С. / Л. С. Филатов, В. И. Глущенко, А. Д. Батычев // ВОР. – 1981. – Сер. XVII, вып. 135.

3. Глущенко В. И. Работоспособность соединения элементов универсальных сборно-разборных приспособлений (УСПС-С) / В. И. Глущенко, А.Я. Мовшович, Ю. А. Черная // Вестник НТУ «ХПИ». – Х., 2012. – Высокие технологии в машиностроении. – С. 42–47.

***Мовшович А.Я., Изотова К.А., Черная Ю.А., Бондарь О.В.*** «Конструкции универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСПС-С)».

В статье изложены конструктивно-технологические особенности создания системы универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочного производства (УСПС-С), дана оценка их жесткостных характеристик, приведены показатели технико-экономической эффективности.

***Ключевые слова:*** сварочные работы, беззазорное соединение, динамические нагрузки.

***Мовшович А.Я., Изотова К.О., Черная Ю.А., Бондар О.В.*** «Конструкції універсальних збірно-розбірних пристосувань для збірно-зварювальних робіт (УЗРП-3)».

У статті викладені конструктивно-технологічні особливості створення системи універсальних збірно-розбірних пристосувань для збірно-зварювального виробництва (УЗРП-3), надана оцінка їх жорсткісних характеристик, приведені показники техніко-економічної ефективності.

**Ключові слова:** зварювальні роботи, безпроміжкове з'єднання, динамічні навантаження.

**Movshovich A.Y., Izotova K.A., Chorna Yu.A., Bondar O.V.** “Constructions of the general assembly-and-disassembly devices for assembly-welding operations (GADD-W)”.

The article describes the design and technological features of a system of general assembly-and-disassembly devices for assembly-welding production (GADD-W), the estimation of the stiffness characteristics are indicators of the technical and economic efficiency is given.

**Key words:** welding operations, intimate joints, dynamic loads.

Стаття надійшла до редакції 28 березня 2012 р.