

УДК 621.791.039

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СБОРНЫХ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ©Фролов Е. А.¹, Пирнат А. М.¹, Кравченко С. И.¹, Дерябкина Е. С.²*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка¹**Українська інженерно-педагогічна академія²***Інформація про авторів:**

Фролов Євгеній Андрійович: ORCID: 0000-0002-9415-1066; naumova_olga1@mail.ru; доктор технічних наук; завідувач кафедри технології машинобудування; Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка; Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, 36011, Україна.

Пирнат Артур Михайлович: ORCID: 0000-0002-9439-501X; a.pirnat@mail.ru; асистент кафедри технології машинобудування; Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка; Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, 36011, Україна.

Кравченко Сергій Іванович: ORCID: 0000-0003-3250-8645; 050ser09@i.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри технології машинобудування; Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка; Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, 36011, Україна.

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Представлены результаты исследования эксплуатации УСРПС для производства металлоемких крупногабаритных сварных изделий. Установлено, что базовые плиты являются наиболее нагруженными деталями обратимых приспособлений для сборочно-сварочных работ. Анализ схем компоновок УСРПС позволил установить характерные схемы силового взаимодействия в них и расчётные схемы нагружения базовых плит и опорно-корпусных деталей. Определены рациональные параметры и размеры базовых плит.

Рассчитана величина усилия, необходимого для упругого деформирования заготовок сварных изделий перед сваркой, которая находится в пределах $P_{упр}=0,5\div 35,0$ кН, по этой нагрузке рассчитываются прижимные элементы УСРПС. Рассчитаны наибольшие величины пассивных горизонтальных и активных вертикальных усилий, возникающих в компоновках. Установлено, что критериями работоспособности базовых плит являются: прочность общая и местная, жесткость и стабильность геометрических размеров УСРПС в течении длительного срока эксплуатации, деформации базовых поверхностей технологической оснастки должны соответствовать 7-й степени точности по плоскостности в зависимости от их длины.

Ключевые слова: сварка; сборка; приспособление; базовые детали; усилие; напряжение; деформации; работоспособность.

Фролов Є. А., Пирнат А. М., Кравченко С. І., Дерябкина Є. С. «Дослідження умов експлуатації універсальних збірних переналагоджуваних пристроїв для виробництва великогабаритних зварних конструкцій».

Представлені результати дослідження експлуатації УСРПС для виробництва металомістких великогабаритних зварних виробів. Встановлено, що базові плити є найбільш

навантаженими деталями оборотних пристосувань для складально-зварювальних робіт. Аналіз схем компоновки УСРПС дозволив встановити характерні схеми силової взаємодії в них і розрахункові схеми навантаження базових плит і опорно-корпусних деталей. Визначено раціональні параметри і розміри базових плит. Розрахована величина зусилля, необхідного для пружного деформування заготовок зварних виробів перед зварюванням, яка знаходиться в межах $P_{упр}=0,5\div 35,0$ кН, з цього навантаження розраховуються притискні елементи УСРПС. Розраховані найбільші величини пасивних горизонтальних і активних вертикальних зусиль, що виникають в компоновках. Встановлено, що критеріями працездатності базових плит є: міцність загальна і місцева, жорсткість і стабільність геометричних розмірів УСРПС протягом тривалого терміну експлуатації, деформації базових поверхонь технологічного оснащення повинні відповідати 7-му ступеню точності на площинність в залежності від їх довжини.

Ключові слова: зварювання; складання; пристосування; базові деталі; зусилля; напруга; деформації; працездатність.

Frolov E., Pirnat A., Kravchenko S., Deryabkina E. “Study of duty universal modular readjusted devices for large weldments”.

The results of the study UMRDW operation for the production of large-size metal-welded products. It was found that the base plates are the most stressed parts of reversible devices for assembly and welding. Analysis circuits layouts UMRDW possible to establish specific schemes force interaction in them, and the calculated basic circuit boards and load-supporting body parts. The rational parameters and dimensions of the base plate.

Calculated amount of force necessary for elastic deformation of workpieces before welding weldments, which is within $P_{упр}=0,5\div 35,0$ kN load are calculated for this pressure elements UMRDW. Greatest value calculated horizontal passive and active vertical forces arising in layouts. It is established that the criteria underlying health boards are: general and local strength, rigidity and stability of the geometrical sizes UMRDW for a long service life, deformation tooling base surfaces must conform 7th flatness degree of accuracy, depending on their length.

Key words: welding; assembly; device; base member; effort; stress; strain; performance.

1. Состояние вопроса

В развитии современного машиностроения особая роль принадлежит сборочно-сварочному производству. Одним из эффективных средств в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска изделий в сварочном производстве является применение обратной оснастки – универсально-сборных переналаживаемых приспособлений (УСРПС). Особенно это актуально для сварных изделий габаритами от 1000 до 2000 мм.

2. Анализ проведенных исследований

До настоящего времени при проектировании УСРПС для сборки изделий конструктивные параметры их принимались без учета сварочных деформаций и назначались опытным путем в виду отсутствия достоверных методов расчета [1–4]. Это привело к частым поломкам элементов УСРПС, а завышенный запас прочности снижал эффективность

применения их в виду увеличенных габаритных размеров приспособлений. Особенно это касается базовых и опорно-корпусных деталей этих приспособлений, которые являются основой всех компоновок и в процессе работы воспринимают наиболее высокие нагрузки. От их прочности и жесткости зависит качество и точность сборочно-сварочных работ.

Однако в литературе силовые условия работы сборочно-сварочных приспособлений для габаритных и металлоемких изделий изучены недостаточно полно. Отсутствуют исследования прочности и напряженно-деформированного состояния базовых элементов приспособлений с учетом схем нагружения и величины нагрузки.

3. Целью исследований является установка расчетных схем нагружения основных элементов УСРПС, определение реальных величин нагрузок на элементы компоновок и установление критериев работоспособности базовых плит.

4. Основной материал

Конструкция элементов УСРПС выполнена на основе номенклатуры крупногабаритных сварных конструкций, достоинств и недостатков всех предыдущих методов технологического оснащения производства различных изделий[2].

По назначению детали и сборочные единицы комплекта УСРПС разделяются на 7 групп.

1. Базовые детали (плиты) служат основанием, на котором размещаются все остальные элементы компоновок.

2. Опорно-корпусные детали и сборочные единицы (угольники, опоры всех видов, подкладки, планки) служат для образования корпуса приспособлений.

Основным конструктивным элементом соединения деталей первых двух групп являются Т-образные и шпоночные пазы, которые служат для закрепления и точной взаимной фиксации элементов групп между собой.

3. Фиксирующие детали и сборочные единицы (призмы, фиксаторы, державки, упоры) в компоновках УСРПС.

4. Установочно-направляющие элементы (проставки с отверстиями, муфты, колодки, державки валиков, трубы, валики, шпонки).

5. Прижимные элементы (прижимы различных конструкций, распорки, струбцины, домкраты, прихваты и др.).

6. Крепежные детали (болты, шпильки, винты, гайки, сухари, шайбы).

7. Разные вспомогательные детали (колпачковые опоры, кольца, пружины и др.).

Анализ схем компоновок УСРПС позволил установить характерные схемы силового взаимодействия в них и расчётные схемы нагружения базовых плит и опорно-корпусных деталей (рис. 1).

Для правильного выбора рациональных размеров базовых, опорно-корпусных деталей и зажимных устройств УСРПС необходимо определить величину действующих нагрузок. По характеру происхождения нагрузки, действующие на элементы компоновок УСРПС, можно разделить на следующие виды:

- пассивные, вызываемые упругим деформированием деталей сварных изделий при сборке их с целью исправления формы заготовок;

Технологія машинобудування

- активные, вызываемые упругим предварительным деформированием деталей сварных изделий в компоновках с целью создания обратных прогибов сварочным деформациям.

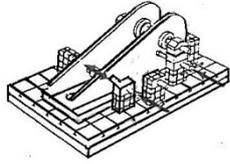
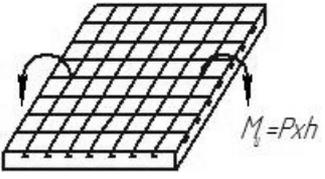
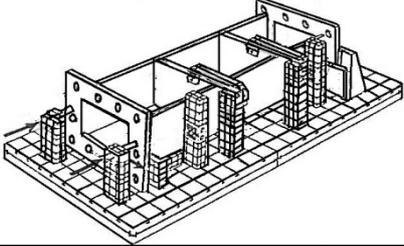
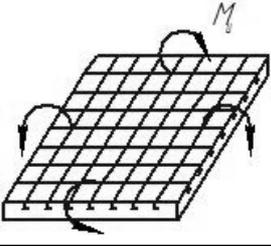
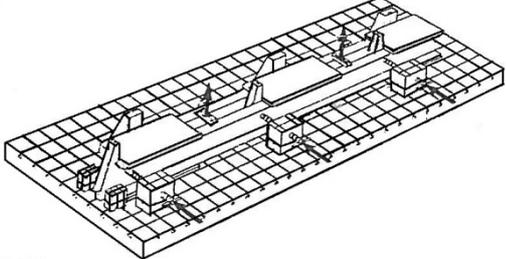
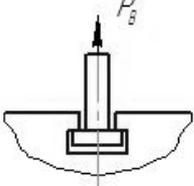
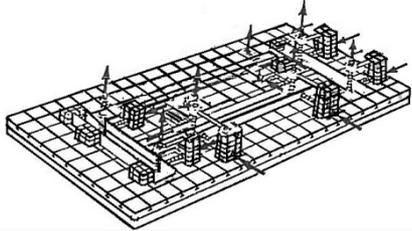
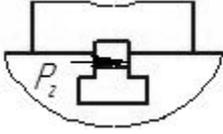
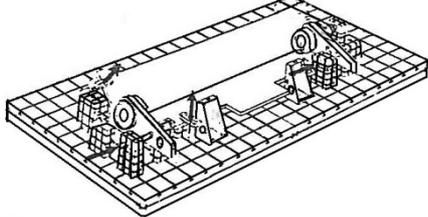
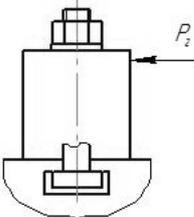
Геометрическая форма сварных конструкций	Силовые взаимодействия в типовых компоновках УСПС	Расчетные схемы нагружения
Кронштейны		
Коробчатые		
Балочные		$P_e = 80-130 \text{ кН}$ 
Рамные		 $P_2 = 0,5-35 \text{ кН}$
Корпусные		

Рис. 1 – Расчетные схемы нагружения базовых плит и опорно-корпусных деталей УСПС

Величина нагрузок определялась, исходя из условия, что заготовки сварных изделий перед сборкой имеют отклонения от формы. Виды и величины деформаций, допускаемых для различных заготовок, в состоянии их поставки приняты в соответствии с действующими стандартами.

Определение величины усилий, необходимых для упругого деформирования заготовок, проводилось по схеме для расчета двуопорной балки.

Величина усилия $P_{упр}$ определялась по известной формуле [5]:

$$P_{упр} = \frac{48EI\delta}{L^3}, \text{ Н,}$$

где E – модуль упругости материала, МПа;

I – момент инерции сечения, см⁴;

f – допустимая стандартом величина деформации, см;

L – длина заготовки, см.

Проведенные расчеты свидетельствуют, что величина усилия, необходимого для упругого деформирования заготовок сварных изделий перед сваркой находится в пределах $P_{yup}=0,5\div 35,0$ кН, по этой нагрузке рассчитываются прижимные устройства УСРПС.

Из всего многообразия сварных крупногабаритных конструкций по классификации были выбраны типовые сварные балочные конструкции. Основное внимание уделяется определению усадочной силы $P_{усн}$ и поперечной усадки Δ_{non} .

Величина усадочной силы $P_{усн}$ при многопроходной сварке тавровых, нахлесточных, угловых швов коробчатых балок с учетом их продольной и изгибной жесткости определялась по формуле:

где P – усадочная сила при однопроходной сварке, кН;

ΔF_{nl} – приращение площади зоны пластических деформаций от последующих проходов, см²;

F_{nl} – площадь зоны пластических деформаций от первого прохода, см²;

F_{nl} – площадь поперечного сечения балки, см²;

e – расстояние от центра тяжести сечения балки до точки приложения $P_{ус}$, см;

I – осевой момент инерции сечения балки, см⁴;

$P_{ус.абс.ж}$ – усадочная сила при однопроходной сварке абсолютно жесткой конструкции, кН;

σ_m – предел текучести свариваемого металла, МПа.

Суммарная поперечная усадка Δ_{non} от многослойного поперечного шва определялась по формуле:

$$\Delta_{non} = \Delta_1 + \sum_{i=1}^k \Delta_{ni}, \text{ см,}$$

где $\Delta_1 = \Delta_{cp} + \Delta\sigma$ – поперечная усадка полки балки от продольных швов в случае однослойного поперечного шва;

k – количество слоев, смещенных на полку;

Δ_n – приращение поперечной усадки от каждого слоя, смещенного на полку, см.

Величина приращения поперечной усадки ($\Delta\sigma$), вызванная действием остаточных напряжений от сварки продольных швов, определялась по формуле:

$$\Delta\sigma = -7,2 \cdot 10^{-3} + 3,44 \cdot 10^{-7} P_{ус}, \text{ см.}$$

Угол излома балки от сварки поперечных швов определялся по формуле:

$$\varphi = \Delta_{non} \frac{S}{I}, \text{ рад,}$$

где S – статическим момент части сечения, в которой расположен поперечный шов, см³;

I – момент инерции поперечного сечения балки, см⁴.

Прогиб балки от сварки продольных и поперечных швов определялся суммированием полученных величин деформаций от продольных и поперечных швов.

$$f_{\Sigma} = f_{np} + f_{non}, \text{ см.}$$

Технологія машинобудування

Прогиб балки от сварки продольных швов определялся по формуле:

$$f_{np} = \frac{P_{yc} e L^2}{8EI}.$$

Суммарный прогиб от сварки поперечных швов определялся по формуле:

$$f_{np} = \sum \phi_i L_i.$$

Величина усилия P , необходимого для создания обратного прогиба при сварке балочных конструкций, определялась следующим образом. Прогиб балки под действием P_{ycn} рассматривался как разность между прогибом балки, когда сопротивление прогибу оказывает сечение балки без учета площади зоны пластических деформаций (I_2), и прогибом балки, когда сопротивление оказывает все сечение балки (I_1), то есть:

$$f_{\Sigma} = f_2 - f_1, \text{ см}, \quad f_1 = \frac{PL^3}{48EI_1}, \text{ см}, \quad f_2 = \frac{PL^3}{48EI_2}, \text{ см}.$$

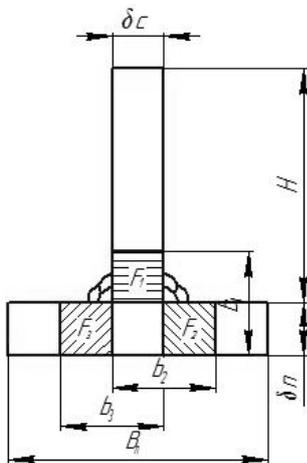


Рис. 2 – Зоны пластической деформации

Размер зоны пластических деформаций (рис. 2) сводится при известной толщине стенки к определению размеров b_1 , b_2 , b_3 , причем:

$$F_{nl} = F_1 + F_2 + F_3 = 3F_1$$

$$\text{Тогда } F_1 = \frac{F_{nl}}{3}, \text{ см}^2.$$

$$\text{Принимая во внимание, что } b_1 = b_2 = b_3 = \frac{F_1}{\delta_c}, \text{ см}.$$

Можно вычислить и соответствующий момент инерций сечения I_2 . Тогда

$$P = \frac{f_{\Sigma}}{\frac{L^3}{48E} \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right)}, \text{ кН}.$$

Результаты расчетов усилий показали, что для балочных конструкций находятся в пределах от 84кН для габаритов изделий 2145x85x130 мм до 130 кН для габаритов 3070x300x400 мм.

Работу базовых плит компоновок УСРПС определяют кроме направления и способа передачи нагрузок также при условии опирания и крепления их. Условия опирания и крепления плит сборочно-сварочных приспособлений до настоящего времени не анализировались.

Крепление базовых плит к регулируемым стойкам и специальным рамам осуществляется при помощи крепежных шпилек. Как показали обследования ряда машиностроительных предприятий, базовые плиты в практике закрепляются по трем схемам: в 4-х, 6-ти и 9-ти точках.

Анализ, компоновок УСРПС при изготовлении сварных конструкций различных классов показывает, что основания приспособлений – плиты, являются наиболее нагруженными деталями. Величина деформации базовых плит зависят, главным образом, от расположения в компоновках зажимных элементов, под действием которых происходит нагружении плит изгибающими моментами, и силами, перпендикулярными и

параллельными срединной поверхности плит. Основными критериями работоспособности базовых плит УСРПС, таким образом, являются прочность и жесткость. Исходя из требований длительного сохранения первоначальной точности, общие и местные напряжения в базовых плитах УСРПС не должны выходить за пределы пропорциональности. Таким образом, условие прочности можно выразить формулой:

$$\sigma_{np} \leq [\sigma]_y,$$

где σ_{np} – приведенное к простому растяжению или сжатию;
 $[\sigma]_y$ – допускаемое напряжение при растяжении.

Приведенное напряжение при расчете на сопротивление пластическим деформациям можно определить по гипотезе наибольших удлинений по формуле [5]:

$$\sigma_{np} = \frac{1-\mu}{2}\sigma + \frac{1+\mu}{2}\sqrt{\sigma^2 + 2\tau^2},$$

где σ и τ – напряжения в поперечном сечении;
 μ – коэффициент Пуассона.

Наибольшие напряжения возникают на поверхности плит. Зная компоненты напряжений по направлениям, можно определить главные напряжения как для плоского напряженного состояния по формуле:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}.$$

Углы α_1, α_2 , составляемые нормальными к главным площадкам с осью x :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_x}{\tau_{xy}}, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_x}{\tau_{xy}}$$

Наибольшие и наименьшие касательные напряжения определяются по формуле:

$$\tau_{\max, \min} = \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

Расчет на сопротивление пластическим деформациям производится по формуле:

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_m}{n_m} = [\sigma],$$

где n_m – запас прочности.

Величина запаса прочности (n_m) при расчете на сопротивление пластическим деформациям принимается в зависимости от степени пластичности материала, которая оценивается отношением $\frac{\sigma_m}{\sigma_s}$ [5].

На работоспособность компоновок УСРПС решающее влияние оказывает также жесткость базовых плит. Согласно требованиям, предъявляемым к базовым поверхностям технологической оснастки (сборочным приспособлениям, кондукторам и др.), деформации их должны соответствовать 7-й степени точности по плоскостности в зависимости от длины базовых поверхностей [1].

Технологія машинобудування

Фактические прогибы оснований (плит) компоновок УСРПС можно определить для нашего случая, если будет известна поверхность деформированной плиты.

Выводы

1. Базовые плиты являются наиболее нагруженными деталями обратимых приспособлений их следует рассматривать как тонкие упругие пластинки на опорах, имеющие сложную схему нагружения и закрепления.

2. Возможны три схемы закрепления базовых плит: в 4-х, 6-ти и 9-ти точках. Рациональную схему закрепления можно выбрать путем проведения теоретических и экспериментальных исследований.

3. Определение рациональных параметров и размеров базовых плит должно производиться по двум расчетным схемам нагружения и трем схемам закрепления.

4. Величина пассивных горизонтальных усилий, создающих изгибающие моменты, составляет $P_{\text{упр}}=0,5-35,0\text{кН}$

5. Величина активных вертикальных усилий, действующих через Т-образные пазовые болты на плиты и опорно-корпусные детали, составляет $P=80-130\text{кН}$.

6. Основными критериями работоспособности базовых плит являются:

- прочность общая и местная;
- жесткость, определяемая точностью сборки сварных конструкций;
- стабильность геометрических размеров в течение длительного срока службы.

Список использованных источников:

1. Жолткевич Н. Д. Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства [Текст] / Н. Д. Жолткевич и др. – М. : ЦНИИ информ., 1988. – 248с.
2. Филатов Л. С. Разработка и внедрение переналаживаемой технологической оснастки для сборочно-сварочного производства [Текст] / Л. С. Филатов // Сборник научных трудов ХПГУ. – Харьков, 2000. – С. 63-67.
3. Мовшович А. Я. Конструкции универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСРПС-С) [Текст] / А. Я. Мовшович, К. А. Изотова, Ю. А. Черная, О. В. Бондарь // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2012. – Вип. 9. – С.148-161.
4. Мовшович А. Я. Исследование деформированного состояния базовых плит универсально-сборных приспособлений для сварочных работ и выбор рациональной схемы их опирания и закрепления [текст] / А. Я. Мовшович, Г. И. Ищенко, Ю. А. Черная, О. В. Бондарь // *Высокие технологии машиностроения* : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «ХПИ». – Х., 2012. – Вып. 1(22). – С.247-251.
5. Справочник машиностроителя [Текст] : в 6 т. Т. 3 / В. Л. Агамиров [и др.] ; ред. С. В. Серенсен ; авт. тома И. И. Трапезин. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Mashgiz, 1962. – 652 с.

References

1. Zholtkevich, N 1988, *Otraslevaya sistema perenalazhivaemoy tekhnologicheskoy osnastki dlya uskorennoy tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva*, TsNII inform, Moskva.
2. Filatov, L 2000, 'Razrabotka i vnedreniye perenalazhivaemoy tekhnologicheskoy osnastki dlya sborochno-svarochnogo proizvodstva', *Sb. nauchnykh trudov KhPGU*, pp. 63-67.
3. Movshovich, A, Izotova, K, Chernaya, Yu & Bondar', O 2012, 'Constructions of the general assembly-and-disassembly devices for assembly-welding operations (GADD-W)', *Mashynobuduvannia*, iss. 9, pp. 148-161.
4. Movshovich, A, Ishchenko, G, Chernaya, Yu & Bondar', O 2012 'Issledovaniye deformirovannogo sostoyaniya bazovykh plit universalno-sbornykh prispособleniy dlya svarochnykh rabot i vybor ratsionalnoy skhemy ikh opiraniya i zakrepleniya', *Vysokiye tekhnologii mashinostroyeniya*, iss. 1 (22), pp. 247-251.
5. Agamirov, V, Serensen, S & Trapezin, I 1962, *Spravochnik mashinostroyatelya*, 3rd edn, Mashgiz, Moskva 1962.

Стаття надійшла до редакції 15 червня 2016 р.