

Определение оптимальных размеров базовых плит переналаживаемой оснастки для сварочно-сборочных операций

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Предложена методика расчета конструктивных параметров базовых плит переналаживаемой оснастки для проведения сборочно-сварочных операций. Определены оптимальные соотношения основных конструктивных параметров плит, которые обеспечивают достаточную жесткость конструкции приспособления и ее работоспособность и точность сборки собираемых свариваемых изделий. Полученные результаты при контрольных расчетах напряженно-деформированного состояния плит показали качественное совпадение картин напряженного и деформированного состояния для соответствующих сил нагружения.

Ключевые слова: конструктивные параметры, базовые плиты, сварочно-сборочные приспособления, схема нагружения, жесткость, работоспособность.

Введение

В развитии современного машиностроения большая роль принадлежит сварочному производству. От дальнейшего повышения его эффективности во многом зависят технико-экономические показатели многих отраслей машиностроения (авиастроение, двигателестроение, вагоностроение, производство колесно-гусеничной техники).

Особого внимания заслуживают сборочные операции в процессе изготовления сварочных конструкций. Удельный вес сборочных работ (установка, закрепление и прихватка всей металлоконструкции) составляет до 40 % от трудоемкости всего цикла сварочного производства.

Производство сварных конструкций изделий машиностроения требует применения значительного количества неразборной специальной сборочно-сварочной оснастки, в том числе дублеров.

Значение оснастки в производственном процессе очень велико. Она не только повышает производительность и эффективность процесса, но и обеспечивает заданную технологическим процессом точность и качество изготовления сварных конструкций.

Также в период подготовки производства новых изделий в результате внесения конструктивно-технологических изменений 30...40 % изготовленной неразборной оснастки приходится проектировать и изготавливать заново. Это приводит к тому, что фактические объемы проектирования и изготовления сборочно-сварочных приспособлений, как показал производственный опыт, в 1,5...2 раза превышает их потребность, а это влечет за собой значительные дополнительные расходы металла, трудовых и финансовых затрат.

1. Цель работы, постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций

По данным ряда работ [1–3] наибольший эффект достигается за счет использования переналаживаемых видов технологической оснастки, так как она ос-

нована на принципе длительной обрабатываемости и высокой оборачиваемости ее составных элементов (переналаживаемые универсальные сборно-разборные приспособления для сварочно-сборочных работ – УСРПС).

Работоспособность УСРПС определяется, как показали теоретические исследования [4, 5], равнопрочностью основных их элементов, важнейшими из которых являются базовые плиты, а на них уже из комплекта деталей и сборочных единиц конструируется все приспособление. Поэтому прочность и жесткость плит на 60 % определяет жесткость собираемых компоновок, а следовательно, и точность выполняемых сборочно-сварочных операций. При разработках новых конструкций приспособлений необходимо особое внимание уделять определению оптимальных размеров базовых плит, которые при минимальной металлоемкости обеспечивают требуемую жесткость и достаточную прочность.

Целью данной работы является определение оптимальных размеров конструктивных элементов базовых плит УСРПС.

2. Изложение основного материала

Анализ различных сборочно-сварочных операций, выполняемых на предприятиях различных отраслей, показал, что наиболее характерными видами нагрузок, действующих на базовые плиты УСРПС в процессе их эксплуатации, являются изгибающие моменты, приложенные в экстремальных случаях по краям плиты [4, 5]. Таким образом, при постановке задачи о расчете базовых плит УСРПС на жесткость и прочность формулируется первая основная задача теории упругости об исследовании напряженно-деформированного состояния прямоугольной перфорированной пластины, находящейся под действием изгибающих моментов M_x , M_y и перерезывающих усилий Q_x , Q_y (рис. 1). Материал плит идеально упругий, связь между напряжениями и деформациями выражается законом Гука, приложение нагрузки статическое, массовыми силами можно пренебречь.

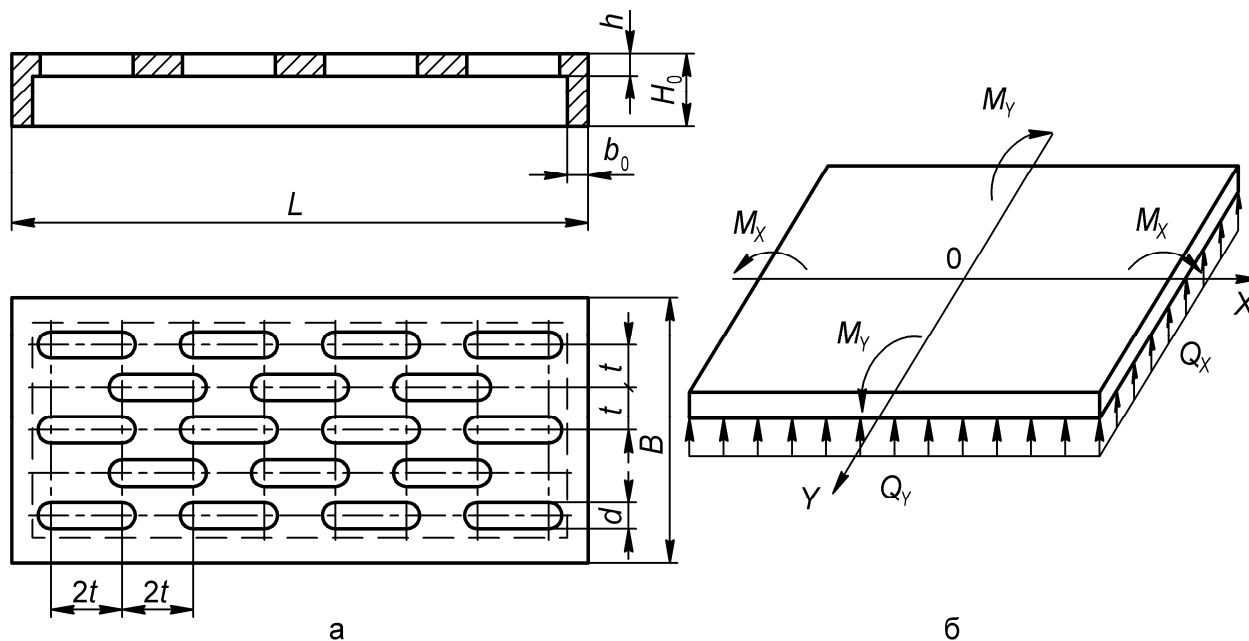


Рис. 1. Конструктивное исполнение и расчетная схема базовой плиты:
а – конструктивное исполнение плиты; б – расчетная схема плиты

При этом соблюдается необходимое для тонких пластин неравенство

$$h \ll \min(L, B). \quad (1)$$

По периметру пластина обрамлена жесткой рамой, элементы которой прямолинейны, а поперечные сечения их прямоугольны (H_0 , b_0 – размеры элементов рамы в поперечном сечении). По краям плита нагружена изгибающими моментами M_{0x} , M_{0y} (рис. 1, б).

На первом этапе проводимого расчета густоперфорированная овальными отверстиями пластина приводится к эквивалентной по жесткости сплошной пластине, причем главным требованием эквивалентности является равенство потенциальных энергий исходной перфорированной и приведенной сплошной пластины при изгибе. При этом решается задача об определении эквивалентных жесткостей.

Далее, на втором этапе рассматривается уже сплошная, но анизотропная пластина, эквивалентная исходной перфорированной. Направление анизотропии приведенной пластины совпадает с осями симметрии перфорированного элемента. При построении решения задачи об изгибе сплошной анизотропной пластины использован вариационный метод Ритца-Тимошенко, в котором дифференциальные уравнения теории упругости реализуются при минимизации выражения для потенциальной энергии деформации исследуемых базовых плит УСРПС [6–7].

$$n = \left[D_x b_1 + 2D_{xy} b_2 + D_y b_3 + 4D'_{xy} b_4 + 2m_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=0, y=0} + \right. \\ \left. + m_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{x=0, y=0} \right] + J_\rho E_\rho (b_5 + b_6) + \sigma J_\rho (b_7 + b_8),$$

где b_1, \dots, b_8 – значения соответствующих интегралов, входящих в выражение для потенциальной энергии деформации;

$D_x, D_y, D_{xy}, D'_{xy}$ – эквивалентные жесткости полученной анизотропной пластины, вычисляемые по физическим и геометрическим параметрам исходной перфорированной.

Выполнение условия стационарности потенциальной энергии

$$\frac{\partial \Pi}{\partial C_{ij}} = 0$$

дает систему алгебраических уравнений для определения коэффициентов разложения.

Изгибающие моменты, нормальные и касательные напряжения определяли по известным в теории упругости выражениям, а значения эквивалентных напряжений – по энергетической гипотезе прочности.

Определение эквивалентных жесткостей, интегрирование, решение системы алгебраических уравнений и другие вычисления проводились с использованием вычислительной техники.

Исследования влияния геометрических размеров базовых плит УСРПС и величины прилагаемых нагрузок на напряженно-деформированное состояние проводилось на примере плиты размером в плане $B \times L = 272 \times 320$. При этом величина H_0 при $h = \text{const} = 9$ мм принимала значения 12, 20, 35, 48, 57 мм, а толщина пластины h при $H_0 = \text{const} = 35$ мм – 3, 4, 7, 9, 11, 13 мм.

Величина изгибающих моментов, как при одноосном, так и при двухосном нагружении составляли $M_x = M_y = 135$ Н·м, что соответствует максимальным значениям реальных нагрузок, воспринимаемых плитами УСРПС в процессе выполнения сборочно-сварочных операций. Расчет указанных вариантов позволил получить распределение перемещений и напряжений в базовых плитах УСРПС для каждого рассмотренного случая. Из полученных в ходе расчета зависимостей следует, что как высота окаймляющего ребра, так и толщина самой пластины существенно влияют на жесткость базовых плит. Причем, это влияние на различных участках исследованного интервала относительных значений H_0/B . Максимальная интенсивность уменьшения прогибов наблюдается при увеличении высоты ребра от 12 до 35 мм и толщины пластины от 3 до 9 мм.

Анализ перемещений показал, что оптимальным соотношением H_0/B при постоянной толщине пластины является величина 0,13, так как при меньших значениях наблюдается резкое возрастание прогибов, а дальнейшее увеличение высоты ребра жесткость повышает незначительно.

Оптимальное значение отношения h/B равно 0,03–0,035, увеличение или уменьшение которого нецелесообразно по аналогичным с H_0 причинам. В этом случае оптимальным значением отношения h/H_0 , удовлетворяющим требованиям жесткости, является величина 0,23–0,26.

Для исследованных плит размером 272×320 мм этому отношению соответствует толщина $h = 9,0$ мм и высота $H_0 = 35,0$ мм. При этом, как следует из проведенных расчетов, максимальный прогиб в центре плиты при двuosном нагружении составляет 0,7 мм, а при одноосном (продольном, поперечном) – 0,4 мм.

Анализ напряженного состояния базовых плит УСРПС, рассчитанного параллельно с деформированным, показал, что на всем исследованном интервале отношений H_0/B и h/B для всех схем нагружения влияние высоты ребра и толщины пластины на нормальные, касательные и эквивалентные напряжения существенно. Однако их абсолютные значения, в том числе и σ_3 , даже при минимальных H_0 и h не превосходят допускаемых величин для применяемого материала базовых плит (сталь 40ХЛ).

Таким образом, приходим к выводу, что критерием работоспособности базовых плит УСРПС является не прочность, а их жесткость. Проведенные численные исследования и анализ полученных результатов позволили обосновать основные размеры плит 272×320 , обеспечивающие необходимую жесткость. Далее, руководствуясь конструктивными соображениями и исходя из габаритов свариваемых конструкций, были разработаны две серии базовых плит УСРПС для сборочно-сварочных работ. Основные конструктивные параметры разработанных плит приведены в табл. 1.

В первой серии исследованная плита 272×320 является максимальной, поэтому при тех же нагрузках остальные четыре (меньшие) плиты с $H_0 = 35$ мм и $h = 9$ мм должны заведомо удовлетворять условиям жесткости. Для второй серии размеры $H_0 = 50$ мм и $h = 13$ мм выбраны из рекомендованного условия $h/H_0 = 0,24$. При этом $H_0/B_{\text{max}} = 1,02$, $h/B_{\text{max}} = 0,24$, что находится в окрестностях оптимальных соотношений.

Таблица 1

Конструктивные параметры базовых плит УСРПС

Серия 1		Серия 2	
<i>B</i>	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>L</i>
272	320	484	748
208	320	418	748
208	240	418	616
160	272	330	396
160	240	330	616

Для проверки прочности и жесткости разработанных плит обеих серий были проведены контрольные расчеты их напряженно-деформированного состояния по ранее составленной методике [4]. Полученные результаты показывают качественное совпадение как картин напряженного, так и деформированного состояния для соответственных схем нагружения. Количественно значения прогибов уменьшаются с уменьшением габаритов плит. Для плит второй серии $W_{\max} = 0,67$ при двухосном нагружении. Максимальные значения эквивалентных напряжений в плитах первой серии не превосходят 65 МПа, а второй – 22–24 МПа. Причем установленные характеристики действительны для различных базовых плит при соблюдении у них следующих соотношений размеров: $h/B = 0,028...0,51$, $H_0/B = 0,11...0,22$ и $h/H_0 \approx 0,25...0,26$.

Выводы

Таким образом, на основе проведенных расчетов можно сделать следующие заключения:

1. Напряжения и деформации, возникающие при нагружении базовых плит УСРПС как первой, так и второй серий, не превосходят допустимых значений, тем самым обеспечивают их работоспособность, а также точность сборки свариваемых изделий.

2. Определены оптимальные соотношения параметров размеров базовых плит: $h/B = 0,03-0,035$, $H_0/B = 0,13$, $h/H_0 = 0,23-0,26$.

Список литературы

1. Жолткевич, Н. Д. Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства [Текст] / Н. Д. Жолткевич [и др.]. – М. : ЦНИИ информ., 1988. – 248 с.

2. Филатов, Л. С. Система переналаживаемой технологической оснастки для сборочно-сварочного производства отрасли [Текст] / Л. С. Филатов // Прогрессивные виды универсально-сборной переналаживаемой оснастки : тез. докл. II отраслевой конф. – М. : 1987. – С. 20–25.

3. Ряховский, А. В. Состояние, перспективы и концепция развития переналаживаемой оснастки для гибких производственных систем [Текст] / А. В. Ряховский // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. – 1999. – С. 28–34.

4. Фролов, Е. А. Критерии оценки конструктивных и силовых параметров универсальных сварочных сборно-разборных приспособлений [Текст] /

Е. А. Фролов, О. В. Бондарь, С. И. Кравченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2013. – № 3 (100). – С. 26–31.

5. Мовшович, А. Я. Конструкции универсально-сборных приспособлений для сборочно-сварочных работ [Текст] / А. Я. Мовшович, К. А. Изотова, Ю. А. Черная, О. В. Бондарь // *Машиностроение : сб. науч. тр. Укр. инженерно-пед. акад.* – № 9. – Х., 2012. – С. 148–161.

6. Тимошенко, С. П. Теория упругости [Текст]: [пер. с англ.] / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер; под. ред. Г. С. Шапиро. – 2-е изд. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

7. Иванов, В. Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости [Текст] / В. Н. Иванов. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 176 с.

Поступила в редакцию 11.11.2015

Визначення оптимальних розмірів базових плит переналагоджуваного оснащення для зварювально-складальних операцій

Запропонована методика розрахунку конструктивних параметрів базових плит переналагоджуваного оснащення для проведення складально-зварювальних операцій. Визначено оптимальні співвідношення основних конструктивних параметрів плит, які забезпечують достатню жорсткість конструкції пристосування та її працездатність і точність складання збірних виробів, що зварюються. Отримані результати при контрольних розрахунках напружено-деформованого стану плит показали якісний збіг картин напруженого і деформованого стану для відповідних сил навантаження.

Ключові слова: конструктивні параметри, базові плити, зварювально-складальні пристосування, схема навантаження, жорсткість, працездатність.

Determination of the Optimal Sizes of the Basic Plates of the Readjusted Rigging for Welding-Assembly Operations

The method of calculation of structural parameters of basic plates of the readjusted rigging for carrying out welding-assembly operations is offered. Optimal correlations of the basic structural parameters of plates which provide sufficient inflexibility of the construction adaptation and its working capacity and accuracy of assembly of the collected weldable wares are defined. The received results at the control calculations of the tensely-deformed condition of plates showed high-quality coincidence of pictures of the strained and deformed state for the corresponding forces of loading.

Keywords: structural parameters, basic plates, welding-assembly adaptations, chart of loading, inflexibility, capacity.