

ВЫБОР ТИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Богущий В.Б.^{1,2}, Шрон Л.Б.²

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь;

²Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, Симферополь

Ключевые слова: гибкая производственная система, технологическая оснастка, точность обработки, модульная зажимная оснастка, типы специализированной технологической оснастки для ГПС.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выбора технологической оснастки для гибких производственных систем. К недостаткам такой оснастки следует отнести наличие значительной погрешности размеров между базами и уже обработанными поверхностями, что не удовлетворяет требованиям точности обработки корпусных деталей. Подчеркивается, что в возникновении погрешности этих размеров доминирующую роль играет погрешность установки на столе станка. Показано, что весь процесс установки заготовки можно разбить на элементарные этапы, а основная доля погрешности формируется на этапе установки модульной оснастки на спутник. Предлагается при решении задачи повышения точности обработки в условиях гибких производственных систем применять специализированную технологическую оснастку позволяющую сократить количество звеньев размерной цепи и этапов установки. Предложены варианты типов специализированной технологической оснастки позволяющей повысить точность установки заготовки. Сделан вывод, что задача выбора технологической оснастки решается на основе анализа применения принципов деталиустановки или партионности, а в качестве основного критерия выбора, целесообразно использовать величину приведённых затрат на обработку.

SELECTION THE TYPE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR A FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEM

Bogutsky V.B.^{1,2}, Shron L.B.²

¹Sevastopol State University, Sevastopol;

²Crimean Engineering and Pedagogical University name after Fevzi Yakubov, Simferopol

Keywords: flexible production system, technological equipment, precision machining, modular clamping equipment, types of specialized technological equipment for FPS.

Abstract. The article discusses the issues of choosing technological equipment for flexible production systems. The disadvantages of such equipment include the presence of a significant size error between the bases and the already treated surfaces, which does not meet the requirements of precision machining of body parts. It is emphasized that the error of installation on the machine table plays a dominant role in the occurrence of errors of these sizes. It is shown that the entire process of installing the workpiece can be divided into elementary stages, and the bulk of the error is formed at the stage of installing modular equipment on the satellite. It is proposed to use specialized technological equipment to reduce the number of links in the dimensional chain and installation stages when solving the problem of improving processing accuracy in flexible production systems. Variants of types of specialized technological equipment are proposed to improve the accuracy of the workpiece installation. It is concluded that the task of selecting technological equipment is solved based on the analysis of the application of the principles of detail installation or partitioning, and as the main selection criterion, it is advisable to use the value quoted costs for processing.

Введение. Эффективность гибких производственных систем (ГПС) определяется правильным выбором подсистем, её составляющих, в том числе и правильным выбором подсистемы технологической оснастки [1-4 и др.]. В настоящее время подавляющее число ГПС как в нашей стране, так и за рубежом, используют универсальную переналаживаемую технологическую оснастку. К такой оснастке относятся сменные столы или паллеты (рис.1, а) и элементы модульной (рис.1, б) и универсально-сборной (УСП) оснастки (рис.1, в), из которых на паллетах собираются базирующие и зажимные устройства [5-8 и др.].

Наряду с основным преимуществом данного типа технологической оснастки, заключающемся в универсальности, то есть способности оперировать любыми заготовками (в

пределах заданного диапазона размеров), эта оснастка имеет целый ряд недостатков, снижающих эффективность ее применения во многих ГПС.

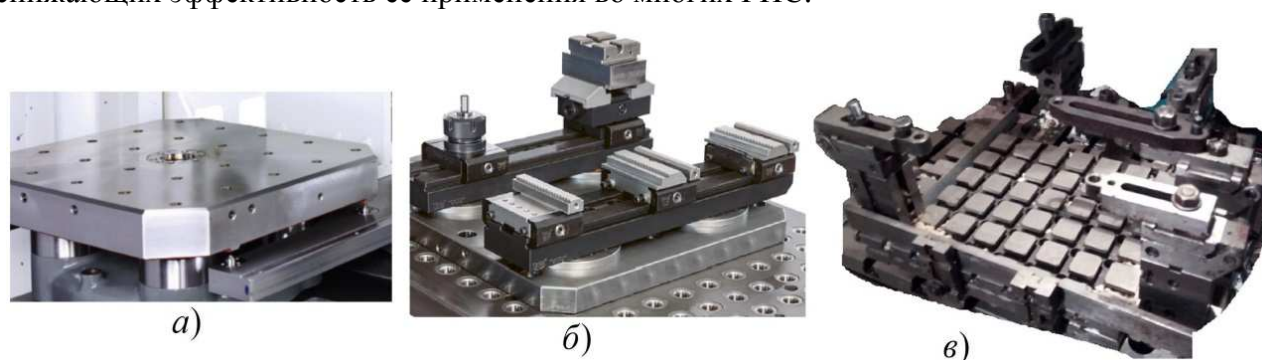


Рис. 1. Конструкции технологической оснастки применяемой в ГПС

Так, например, анализ точностных параметров деталей изготовленных в ГПС показал, что погрешность размеров от баз и уже обработанных поверхностей является настолько значительной, что не удовлетворяет требованиям точности обработки большинства корпусных деталей станкостроения [9-11 и др.].

Основная часть. Анализ причин сравнительно низкой точности размеров связывающих базовые и обработанные поверхности показал, что в возникновении погрешности этих размеров наибольшую роль играет погрешность установки заготовки на столе станка, которая, в свою очередь, является доминирующей в общей погрешности.

Весь процесс установки заготовки можно разбить на элементарные этапы, считая, что установка заготовки и каждого из промежуточных (между заготовкой и столом станка) элементов оснастки представляет собой отдельный этап установки. Количество элементарных этапов зависит от организации процесса установки и применяемой технологической оснастки.

В настоящее время наибольшее распространение получил процесс установки, осуществляющийся в следующей последовательности.

1. Установка модульной зажимной оснастки на спутник – сборка комплекта С-БЗО (спутник – модульная базирующе-зажимная оснастка).
2. Установка комплекта С-БЗО на станок.
3. Установка заготовки в зажимную оснастку на спутнике – сборка комплекта С-БЗО-3 (спутник – модульная базирующе-зажимная оснастка – заготовка).

Каждый из этих этапов можно охарактеризовать накапливаемой погрешностью и временем, необходимым на его выполнение.

Анализ размерных связей, возникающих в процессе установки, показал [12-15 и др.], что основная доля погрешности формируется на этапе установки модульной зажимной оснастки на спутник (см. табл. 1).

Табл. 1. Погрешность процесса установки.

Погрешность		Этапы		
		Установка модульной зажимной оснастки на спутник	Установка заготовки в зажимную оснастку на спутнике	Установка спутника на станок
Линейная	мм	0,040...0,047	0,014...0,022	0,010...0,035
	%	41...66	15...30	13...39
Угловая	$\frac{\text{мм}}{300\text{мм}}$	0,080...0,094	0,028...0,044	0,010...0,020
	%	56...71	19...33	7...17

Это объясняется тем, что установленная на спутнике модульная зажимная оснастка обычно собирается из отдельных модульных элементов или элементов УСП. В связи с этим общая погрешность комплекта С-БЗО определяется погрешностью изготовления модульных элементов, их сборки, погрешностью изготовления спутника, погрешности установки сборки модульных элементов на спутник и погрешности установки спутника с комплектом С-БЗО на станок. Таким образом, большая часть (до 9...12 звеньев) размерной цепи установки, включающей до 11... 14 звеньев, формируется при сборке комплектов С-БЗО, что и приводит к доминированию этого этапа в накоплении погрешности установки.

Сборка комплектов С-БЗО осуществляется по методу полной взаимозаменяемости и методу регулировки. На сборку по методу полной взаимозаменяемости требуется не более 30...45 мин, однако, при этом точность функциональных размеров комплекта С-БЗО невысока: 0,040...0,047 мм по линейным и 0,080...0,0940 мм/300мм по угловым параметрам. Это приводит к значительной погрешности установки заготовки на столе станка, достигающей 0,044...0,063 мм и 0,085...0,100 мм/300мм по линейным и угловым параметрам, соответственно. Поэтому, при изготовлении деталей с высокими требованиями точности к размерам от баз и уже обработанных поверхностей, приходится осуществлять тщательную выверку установочных элементов модульной оснастки относительно баз спутников (из комплекта С-БЗО). В связи с этим значительно возрастает время сборки комплекта С-БЗО, достигая 2,5...6,5 часа [16-18 и др.].

Повышение точности установки заготовки можно достичь не уменьшением погрешности отдельных звеньев размерной цепи установки, а прежде всего, сокращением количества этапов. Для этого целесообразнее всего исключить из процесса этап установки модульной зажимной оснастки на спутник, что кроме повышения точности, за счет сокращения количества звеньев в размерной цепи установки приведет к значительному сокращению трудоемкости процесса установки. Основой исключения названного этапа должно явиться применение неразборных комплектов С-БЗО или специализированной технологической оснастки, одновременно выполняющей как роль спутника, так и зажимной оснастки.

Альтернативой универсальной технологической оснастке, в основном используемой в настоящее время в ГПС [1-7 и др.], в зависимости от применяемого принципа организации работы (принципы деталиустановки или партионный [19, 20 и др.]), а так же возможности использования специализированного спутника, могут быть реализованы следующие типы специализированной технологической оснастки, позволяющей повысить точность установки заготовки.

1. С-БЗО-1 – комплект спутник с базировочно-зажимной оснасткой состоит из универсального спутника (исполнительная поверхность универсального спутника предназначена для базирования и закрепления сборки технологической оснастки из модульных элементов или универсальной оснастки с любой конфигурацией базовых поверхностей) и сборки из модульных элементов, однако за счет использования принципа деталиустановки комплект выступает в роли специализированной технологической оснастки.

2. С-СТО-2-п – комплект состоит из универсального спутника и установленной на него специальной технологической оснастки; организация процесса установки по обычному партионному принципу.

3. С-СТО-2-д – комплект, аналогично предыдущему, состоит из универсального спутника и специальной технологической оснастки; однако процесс организован по принципу деталиустановки.

4. Ссп-СТО-2-п – комплект в отличие от предыдущих состоит из специального спутника (исполнительная поверхность спутника выполнена менее развитой, чем у универсального и предназначена для базирования и закрепления оснастки с определенной конфигурацией базовых поверхностей) и установленной на него специальной технологической оснастки; организация процесса установки по партионному принципу.

5. Ссп-СТО-2-д – комплект состоит из специального спутника и установленной на него специальной технологической оснастки; процесс организован по принципу деталиустановки.

6. С-ПЗ-д – комплект представляет собой единый агрегат, одновременно выполняющий функции спутника и базирующе-зажимного устройства.

Заключение. Выполненный анализ показал, что выбор технологической оснастки для конкретной ГПС – многоуровневая задача, которая решается исходя из принципов деталиустановки или партионности. В качестве основного критерия выбора, следует использовать приведённые затраты, которые, с учетом приведённых годовых затрат на оснастку для базирования и закрепления деталей, позволят определить тип технологической оснастки, являющийся оптимальным для данной ГПС.

Список литературы

1. Raluca N., Anisor N. Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system // Review of the Air Force Academy. 2015, no. 1(28), pp. 155-158.
2. Kaushal A., Vardhan A., Rajput R.S. Flexible Manufacturing System. A modern approach to manufacturing technology // International Refereed Journal of Engineering and Science. 2016, vol. 5, iss. 4, pp. 16-23.
3. Mahmood K., Karaulova T., Shevtshenko E. Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS) // Procedia CIRP. 2017, vol. 63, pp. 424-429.
4. Лосев В.В., Калинин О.А. К вопросу развития гибких производственных систем // Информатика. Экономика. Управление. – 2023. – Т. 2, № 4. – С. 247-256.
5. Боярский В.Г., Сихимбаев М.Р., Шеров К.Т. Переналаживаемая технологическая оснастка для групповой обработки // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12-3. – С. 542-547.
6. Ivanov V., Zajac J. Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing // EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems. 2018, vol. 4, iss. 12, pp. 1-8.
7. Bogutsky V.B., Piankovskay M.V. Evaluation assembly precision UPF // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2016, iss. 3, pp. 28-31.
8. Jonsson M., Ossbahr G. Aspects of reconfigurable and flexible fixtures // Production Engineering. Research and Development. 2010, vol. 4, pp. 333-339.
9. Hannam R.G. Planning for precision in flexible manufacturing systems // Proceedings of the 5th International Conference on Flexible Manufacturing Systems. – 1986. – P. 449-456.
10. Abdulziz M. El-Tamimi, Mustufa H. Abidi, S. Hammad Mian, Javed Aalam. Analysis of performance measures of flexible manufacturing system // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 2012, vol. 24, iss. 2, pp. 115-129.
11. Белоновская И.Д., Глинская Н.Ю., Осадчий Ю.С. Влияние рельефов контактирующих поверхностей спутника и позиционного приспособления на точность установки // Вестник Курганского государственного университета. – 2005. – №2. – С. 148-150.
12. Jonsson M., Ossbahr G. Aspects of reconfigurable and flexible fixtures // Production Engineering. Research and Development. 2010, vol. 4, pp. 333-339.
13. Богуцкий В.Б. Подходы к определению погрешности обработки вызванной установкой технологической оснастки на станке // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2021. – №10. – С. 35-38.
14. Kumar K., Paulraj G. Geometric error control of workpiece during drilling through optimization of fixture parameter using a genetic algorithm // International Journal of Production Research. 2011, vol. 50, iss. 12, pp. 3450-3469.
15. Колесников Л.А. Схема установки сменных столов и приспособлений-спутников // Главный механик. – 2016. – №10. – С. 68-71.
16. Ruiz M.C., Cazorla D., Cuartero F., Macia H. Improving performance in flexible manufacturing systems // The Journal of Logic and Algebraic Programming. 2009, vol. 78, pp. 260-273.
17. Fiedler F., Ehrenstein J., Höltingen C., Blondrath A. and others. Jigs and fixtures in production: A systematic literature review // Journal of Manufacturing Systems. 2024, vol. 72, pp. 373-405.
18. Tohidi H., Al Gedday T. Optimization of modular fixture setup time in an automated assembly line // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2020. – P. 336-346. – doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_33.
19. Хватов Б.Н. Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование: учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 112 с.
20. Marquesa A.F., Alvesa António C., Sousa J.P. An approach for integrated design of flexible production systems // Procedia CIRP. 2013, vol. 7, pp. 586-591.

References

1. Raluca N., Anisor N. Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system // Review of the Air Force Academy. 2015, no. 1(28), pp. 155-158.

2. Kaushal A., Vardhan A., Rajput R.S. Flexible Manufacturing System. A modern approach to manufacturing technology // International Refereed Journal of Engineering and Science. 2016, vol. 5, iss. 4, pp. 16-23.
3. Mahmood K., Karaulova T., Shevtshenko E. Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS) // Procedia CIRP. 2017, vol. 63, pp. 424-429.
4. Losev V.V., Kalinin O.A. On the development of flexible production systems // Informatics. Economics. Management. 2023, vol. 2, no. 4, pp. 247-256.
5. Boyarsky V.G., Sikhimbaev M.R., Sherov K.T. Reconfigurable technological equipment for group processing // Fundamental research. 2011, no. 12-3, pp. 542-547.
6. Ivanov V., Zajac J. Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing // EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems. 2018, vol. 4, iss. 12, pp. 1-8.
7. Bogutsky V.B., Piankovskay M.V. Evaluation assembly precision UPF // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2016, iss. 3, pp. 28-31.
8. Jonsson M., Ossbahr G. Aspects of reconfigurable and flexible fixtures // Production Engineering. Research and Development. 2010, vol. 4, pp. 333-339.
9. Hannam R.G. Planning for precision in flexible manufacturing systems // Proceedings of the 5th International Conference on Flexible Manufacturing Systems. – 1986. – P. 449-456.
10. Abdulziz M. El-Tamimi, Mustufa H. Abidi, S. Hammad Mian, Javed Aalam. Analysis of performance measures of flexible manufacturing system // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 2012, vol. 24, iss. 2, pp. 115-129.
11. Belonovskaya I.D., Glinskaya N.Yu., Osadchy Yu.S. Influence of the reliefs of the contacting surfaces of the satellite and the positional device on the accuracy of the installation // Bulletin of the Kurgan State University. 2005, no. 2, pp. 148-150.
12. Jonsson M., Ossbahr G. Aspects of reconfigurable and flexible fixtures // Production Engineering. Research and Development. 2010, vol. 4, pp. 333-339.
13. Bogutsky V.B. Approaches to determining the processing error caused by the installation of technological equipment on a machine // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2021, no. 10, pp. 35-38.
14. Kumar K., Paulraj G. Geometric error control of workpiece during drilling through optimization of fixture parameter using a genetic algorithm // International Journal of Production Research. 2011, vol. 50, iss. 12, pp. 3450-3469.
15. Kolesnikov L.A. Scheme of installation of interchangeable tables and satellite devices // Chief Mechanical Engineer. 2016, vol. 10, pp. 68-71.
16. Ruiz M.C., Cazorla D., Cuartero F., Macia H. Improving performance in flexible manufacturing systems // The Journal of Logic and Algebraic Programming. 2009, vol. 78, pp. 260-273.
17. Fiedler F., Ehrenstein J., Höltingen C., Blondrath A. and others. Jigs and fixtures in production: A systematic literature review // Journal of Manufacturing Systems. 2024, vol. 72, pp. 373-405.
18. Tohidi H., Al Gedday T. Optimization of modular fixture setup time in an automated assembly line // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2020. – P. 336-346. – doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_33.
19. Khvatov B.N. Flexible production systems. Calculation and design: textbook. – Tambov: Publ. house of the Tambov State Technical University, 2008. – 112 p.
20. Marquesa A.F., Alvesa António C., Sousa J.P. An approach for integrated design of flexible production systems // Procedia CIRP. 2013, vol. 7, pp. 586-591.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Богущий Владимир Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и технология машиностроения»	Bogutsky Vladimir Borisovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of «Automation and mechanical engineering technology»
Шрон Леонид Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кафедра электромеханики и сварки»	Shron Leonid Borisovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of «Electromechanics and welding»
bogutskivb@yandex.ru	

Получена 30.11.2024