

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №11 (149). С.24-29.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №11 (149). P.24-29.

Научная статья
УДК 621.9
doi: 10.30987/2223-4608-2023-24-29

Организация мелкосерийного производства деталей на принципах модульной технологии

Борис Мухтарбекович Базров, д.т.н.
ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук, Москва, Россия
modul_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3297-9818>

***Аннотация.** Отмечается, что традиционное мелкосерийное производство отличается низкой эффективностью из-за применения широкоуниверсального станочного оборудования, возможности которого в значительной степени недоиспользуются на рабочем месте, низкой по производительности технологической схемой обработки поверхностей детали – последовательной обработки поверхностей, организационной формой производства в виде участков по типу станков – участок токарных станков, участок фрезерных станков и т. п., что приводит к большим расстояниям перемещений заготовок по рабочим местам в процессе обработки. Стремление повысить эффективность производства посредством организации партий запуска деталей, которые формируются по конструктивному подобию, например корпусные детали, детали типа тел вращения и т. п., не дает существенного эффекта, т. к. решается задача только минимизировать затраты времени, связанные со сменой приспособлений и переустановкой заготовок, при этом не учитывается оптимальная очередность деталей в партии. С целью повышения эффективности мелкосерийного производства предлагается его организация на принципах модульной технологии, сущность которой заключается в представлении детали не совокупностью отдельных поверхностей, а модулей поверхностей, где под модулем поверхности понимается сочетание поверхностей, с помощью которого деталь выполняет соответствующую функцию. Это позволяет обеспечить специализацию рабочих мест, которые организуются не под методы обработки, а под изготовление соответствующих групп модулей поверхностей. Последние позволяют воспользоваться более производительной технологической схемой обработки поверхностей детали – последовательно-параллельной обработкой поверхностей. При организации производства появляется возможность воспользоваться планировкой рабочих мест в линию согласно поточному методу, что позволит существенно сократить расстояние перемещений заготовок деталей по рабочим местам*

Ключевые слова: мелкосерийное производство, модульная технология, станок, рабочее место, деталь

Для цитирования: Базров Б.М. Организация мелкосерийного производства деталей на принципах модульной технологии // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 11 (149). С. 24–29.
doi: 10.30987/2223-4608-2023-24-29

Organization of small-scale production of parts based on module technology patterns

Boris M. Bazrov, D. Eng.
A.A. Blagonravov Institute of Machines Science
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
modul_lab@mail.ru

Abstract. It is emphasized that the traditional job shop production is characterized by low efficiency due to the use of superuniversal machining facilities for their underemployment of performance capabilities at work and also low-productivity of process flowsheet when machining part surfaces as a sequential surfaced job, the organizational form of production in the form of sections by type of machine tools, i.e. a section of lathes, a section of milling machines, etc. It results in large travel length of workpieces in the machining process at work. The desire to increase the efficiency of production by organizing launch of batch workpieces that are formed in a constructive similarity, such as structures, parts of rotation body types, etc., does not have a significant effect, because the task is just minimizing the run time spent on changing fixtures and reinstalling workpieces, but not taking into account an optimal sequence of parts in the batch. For increasing the efficiency of small-scale production, the module technology is proposed. The main idea of it is to represent the part not as a network of separate surfaces, but as surface modules, where the surface module is understood as a combination of surfaces and the part performs its proper function with the help of this module. This enables a good specialization of workplaces that are organized not for processing methods, but for manufacturing the appropriate groups of surface modules. The latter make it possible to take advantage of a more productive process flowsheet for machining part surfaces. It is sequential parallel surface job that is used. When organizing production, it becomes possible to use the layout of workplaces in line according to the in-line method, which will significantly reduce the part travel length at workplaces.

Keywords: small-scale production, module technology, machine, workplace, part

For citation: Bazrov B.M. Organization of small-scale production of parts based on module technology patterns / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 11 (149). P. 24–29. doi: 10.30987/2223-4608-2023-24-29

Традиционное мелкосерийное производство характеризуется низким уровнем специализации рабочих мест, применением широкоуниверсальных станков и технологической оснастки и низкой по производительности технологической схемой изготовления поверхностей детали – последовательной их обработки [1 – 7].

В результате мелкосерийное производство отличается низкой эффективностью. Причиной такой организации мелкосерийного производства является не столько широкое разнообразие изготавливаемых деталей, сколько непредсказуемость их разнообразия и низкая повторяемость в течение рабочей смены.

С целью повышения эффективности мелкосерийного производства образуют группы деталей в партии запуска по конструктивному подобию, например, партия корпусных деталей, партия валов и т. п.

Традиционное формирование партий запуска деталей нацелено на повышение эффективности их изготовления за счет снижения затрат времени на переход изготовления последующей детали, связанных со сменой приспособления и установкой заготовки. При этом не учитываются затраты времени, связанные со сменой инструмента, количеством настроечных размеров под изготовление поверхностей детали и назначением режимов обработки. Кроме того, не учитывается и оптимальная очередность изготавливаемых деталей в партии, которая тоже оказывает существенное влияние на эффективность их изготовления, т. к. детали в партии в некоторой степени конструктивно отличаются друг от друга.

Наибольшая эффективность их изготовления будет в том случае, если изготовление последующей детали в партии будет требовать минимального изменения затрат времени на переналадку технологической системы, связанной со сменой приспособления и установкой заготовки.

Иными словами, оптимальным выбор последующей детали будет тогда, когда перечисленные затраты времени на переход изготовления последующей детали будут теми же самыми, что и при изготовлении предыдущей детали в партии. Это возможно в том случае, если последующая деталь повторяет предыдущую.

Таким образом, критерием определения последующей детали в партии будет минимальное увеличение затрат времени на переналадку технологической системы после изготовления предыдущей детали. В этих условиях при формировании партии деталей в качестве первой изготавливаемой детали должна быть деталь, требующая минимальных затрат времени на наладку технологической системы. Недостатком такого формирования партии деталей является отсутствие учета такого фактора, как последовательность обработки поверхностей детали, т. к. очередность их изготовления связана с перенастройкой технологической системы на обработку других поверхностей, включая изменение режима обработки.

Однако надо иметь в виду, что эффект от изготовления партий деталей будет в том случае, если снижение трудоемкости изготовления деталей будет выше увеличения трудоёмкости технологической подготовки производства, связанные с формированием партий деталей.

К недостаткам традиционного мелкосерийного производства относятся:

- низкий уровень специализации рабочих мест;
- применение широкоуниверсального станочного оборудования, низкий процент использования технологических и технических возможностей которых имеет место при выполнении технологических операций;
- низкая по производительности технологическая схема обработки поверхности детали – последовательная обработка поверхностей;
- высокая стоимость оборудования;
- сложность управления производственным процессом;
- не высокий эффект от изготовления деталей партиями.

С целью повышения эффективности мелкосерийного производства предлагается воспользоваться модульной технологией, согласно которой [8 – 10] деталь представляется совокупностью модулей поверхностей (МП), где главным преимуществом является ограниченное разнообразие видов МП. Оно состоит из 26 видов, где 14 базирующих модулей поверхностей (МПБ), по шесть видов рабочих модулей поверхностей (МНР) и связующих модулей поверхностей (МПС), где каждый вид МП имеет несколько конструктивных решений с соответствующими техническими характеристиками.

Применение модульной технологии позволяет повысить эффективность мелкосерийного производства за счет:

- повышения уровня специализации рабочих мест;
- применения более производительной технологической схемы обработки детали – последовательно-параллельной обработки поверхностей детали;
- улучшения управляемости производственным процессом.

Организация мелкосерийного производства должна начинаться с представления производственной программы на модульном уровне.

Производственная программа представляется номенклатурой деталей с указанием количества каждого их наименования, а также видов МП, содержащихся в деталях каждого наименования с указанием их количества.

В качестве исходных данных выступают:

- номенклатура рабочих мест, где за каждым рабочим местом закрепляется соответствующая

группа видов МП таким образом, чтобы вся номенклатура рабочих мест охватывала все виды МП. С целью придания гибкости производству каждое рабочее место должно дублировать по одному виду МП, изготавливаемых на смежных рабочих местах;

- станки, специализированные под изготовление групп МП, закрепленных за рабочими местами;

- технологическое обеспечение каждого рабочего места под изготовление МП, включающее перечень модулей технологических процессов (МТО) под изготовление всех МП, модули инструментальных наладок (МИ) под осуществление всех МТО, модули контрольно-измерительных средств (МКИ) для контроля МП, модули управляющих программ (МУП) под реализацию МТО;

- установочно-зажимные элементы для установки заготовок;

- элементная база средств технологического обеспечения изготовления МП.

Элементная база средств технологического обеспечения на модульном уровне содержит модули средств технологического обеспечения МП: модули станка (МО), а также МТО, МИ, МКИ, МУП.

Деление номенклатуры МП по рабочим местам зависит от типа производства, чем меньше серийность производства, тем больше группа видов МП должна изготавливаться на одном рабочем месте. При разделении номенклатуры видов МП на группы по рабочим местам возникает задача определения этих групп.

Если разнообразие изготавливаемых деталей переменное и непредсказуемое, то целесообразно формировать группы изготавливаемых на станках МП по конструктивному подобию, что упрощает конструкции станков и повышает эффективность обработки за счет снижения разнообразия технологии.

В отличие от традиционных технологических процессов разрабатываются модульные технологические процессы.

Надо отметить, что главным недостатком традиционного технологического процесса изготовления деталей является то, что деталь рассматривается как совокупность независимых элементарных геометрических поверхностей. Отсюда возникают сложные технологические размерные цепи, приводящие к ужесточению допусков операционных размеров и избыточное множество

вариантов последовательности изготовления этих поверхностей и, как следствие, многовариантность технологических процессов изготовления одной детали.

В то же время технолог, понимая наличие связей между отдельными поверхностями, обусловленных совместным выполнением служебных функций, предусматривает их изготовление на одной операции или на разных операциях последующим расчетом технологических размерных цепей. Однако степень учета этих взаимосвязей во многом зависит от опыта и квалификации технолога, что влияет на качество технологического процесса, увеличивает трудоемкость, сроки его отладки и внедрения в производство.

Методика построения модульного технологического процесса позволяет свести к минимуму указанные недостатки. Это является результатом того, что деталь описывается не множеством элементарных поверхностей, а совокупностью модулей поверхностей, где поверхности уже объединены по признаку совместного выполнения служебных функций с указанием конструкторских баз каждого МП.

Следует отметить, что модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного, типового и группового процессов, приобретая дополнительно гибкость. Все эти преимущества обеспечиваются методикой разработки модульного технологического процесса, в основу которой положены следующие основные принципы:

- деталь должна быть представлена совокупностью модулей поверхностей;
- все поверхности одного МП должны изготавливаться на одной операции, желательно с одного станова;
- технологический процесс должен учитывать все особенности детали;
- технологическая операция должна строиться методом компоновки из модулей технологических процессов изготовления МП.

Разработка непосредственно модульного технологического процесса, как и традиционного единичного процесса, включает разработку маршрутного технологического процесса и проектирование технологических операций методом компоновки из МТО под изготовление МП.

Разработка маршрута включает: выбор технологических баз и последовательности изготовления МП детали с последующим их объединением в технологические операции.

Рассмотрим в качестве примера организацию рабочего места, специализированного под изготовление у деталей таких МП как Б211, Б212, Б311, Б312 (рис. 1) с заданными диапазонами размеров и уровня точности.

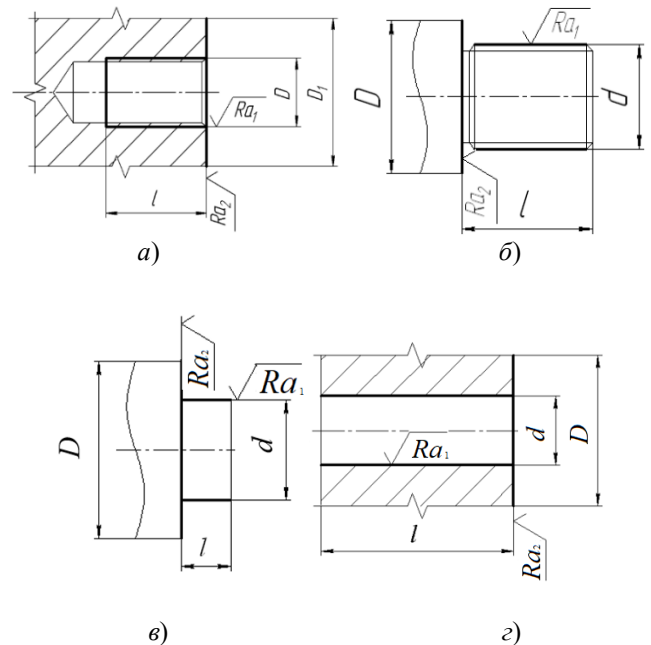


Рис. 1. Эскизы модулей поверхностей:
а – Б211; б – Б212; в – Б311; г – Б312

Fig. 1. Sketches of surface models:
а – B211; б – B212; в – B311; г – B312

Данное рабочее место должно включать следующее технологическое обеспечение: перечень МТО под изготовление всех МП, МУП под реализацию всех МТО, МИ, МКИ всех МП, а также токарно-револьверный станок модели Т16К20, набор инструментов, обеспечивающих организацию всех инструментальных наладок под осуществление МТО по изготовлению модулей поверхностей.

На токарно-револьверном станке модули инструментальных наладок реализуются посредством вывода на рабочие позиции инструментов в резцедержателе и револьверной головке. Управляющая программа для выполнения технологической операции разрабатывается посредством компоновки из соответствующих МУП.

Теперь формирование партий деталей, поступающих на рабочее место, осуществляется следующим образом: первым признаком так же, как и в традиционном мелкосерийном производстве, является конструктивное подобие деталей, что снижает разнообразие схем базирования

заготовок деталей, станочных приспособлений для установки заготовок.

Далее в отличие от формирования партий деталей в традиционном производстве в качестве второго признака предлагается принять общность видов МП, содержащихся в деталях, что позволяет снизить затраты времени, связанные с переналадкой технологических систем при переходах на изготовление новых деталей. При этом определяется такая очередность изготовления деталей в партии, при которой затраты времени при переходе на изготовление новой детали связаны со сменой приспособления, установкой заготовки, перенастройкой технологической системы на изготовление модулей поверхностей будут минимальны.

В традиционном мелкосерийном производстве создаются участки под типы станков, участок токарных станков, участок фрезерных станков и т. п.

Соответственно и при изготовлении детали последние совершают значительные перемещения от одного участка станков к другому в соответствии с составляющими ее поверхностями. Это существенно усложняет управление производственным процессом и снижает его эффективность. Применение модульной технологии при планировке рабочих мест позволяет воспользоваться некоторыми преимуществами поточного метода.

Поточный метод является наиболее эффективным методом организации производственного процесса [11], основными признаками которого являются: прямолинейность, непрерывность, параллельность, пропорциональность, ритмичность и гибкость.

Применение модульной технологии в условиях мелкосерийного производства позволяет в определенной степени использовать преимущества поточного метода, заключающиеся в расстановке рабочих мест в линию.

Однако в отличие от традиционного поточного метода изготавливаются конструктивно-различные детали, при этом некоторые детали могут изготавливаться с любого рабочего места или требовать возврата к рабочим местам.

Надо отметить, что характерной особенностью традиционного мелкосерийного производства является одновременный запуск производства разных деталей, что затрудняет применение поточного метода.

Применение поточного метода в мелкосерийном производстве накладывают ряд ограничений на проектирование модульных технологических процессов. Во-первых, при разработке маршрутного технологического процесса необходимо стремиться к обеспечению такой последовательности технологических операций, которая соответствует прямоочности рабочих мест и к минимуму возврата заготовки к предыдущим рабочим местам. Во-вторых, рабочее место в отличие от рабочего места при традиционном поточном методе должно отличаться более широкими технологическими и техническими возможностями.

При этом следует принять во внимание, что для выполнения производственной программы необходимо дублирование рабочих мест.

Выводы

1. Мелкосерийное производство деталей отличается низкой эффективностью за счет:

- низкого уровня использования технических и технологических возможностей дорогого широкоуниверсального оборудования на рабочем месте;

- низкой по производительности технологической схемой обработки поверхностей детали – последовательной обработки поверхностей;

- организации производства участками по типу станков, приводящему к увеличению расстояний перемещений заготовок по рабочим местам;

- низкой эффективности использования партий запуска деталей, направленных на минимизацию затрат времени, связанных только с переустановкой заготовок.

2. С целью повышения эффективности мелкосерийного производства предлагается его организация на принципах модульной технологии.

3. Применение модульной технологии позволяет повысить эффективность мелкосерийного производства за счет:

- специализации рабочих мест;

- использования более производительной технологической схемы обработки поверхностей детали – последовательно-параллельной обработки поверхностей;

- организации партий запуска с целью минимизировать затраты времени как на переустановку заготовки, так и на перенастройку технологической системы на изготовление модулей поверхностей и планировки рабочих мест в линию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Желобанов С.С. Рациональное планирование наладок станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства // Вестник машиностроения. 2012. № 5. С. 81–82.
2. Колесникова О.В., Лелюхин В.Е. Организация системы планирования мелкосерийного производства // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития технических наук. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Сукиасян А.А., 2015. С. 62–65.
3. Федоров В.К., Епанешникова И.К. Особенности обеспечения качества организации единичного (мелкосерийного) производства // В сборнике: Управление качеством. Избранные научные труды четырнадцатой Международной научно-практической конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского», 2015. С. 391–394.
4. Типнер Л.М., Исхакова Н.Р. Проблемы организации в условиях единичного и мелкосерийного производства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 5-3. С. 97–102.
5. Кудашева И.О., Костин Д.А., Хайкова Я.Д. Структурная организация технологических процессов и систем в среднесерийном и мелкосерийном производствах // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2022. Т. 22. № 8. С. 82–92.
6. Матвеева Е.А. Организация мелкосерийного производства предприятий машиностроения в условиях компьютеризации // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2012. № 4 (20). С. 51–61.
7. Савинов С.В. Способы и методы повышения эффективности мелкосерийного производства // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 5. С. 104–110.
8. Справочник технолога / под общей ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
9. Базров Б.М. Модульная технология // Научные технологии в машиностроении. 2011. № 4. С. 3–10.
10. Базров Б.М. Организация машиностроительного производства на принципах модульной технологии // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 6. С. 67–78.
11. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент) / Грачева К.А., Захарова Л.А., Одинцова Л.А. и др.; под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. М.: Высш. шк., 2003. 470 с.

REFERENCES

1. Zhelobanov S.S. Rational planning of NC machine tools setting-up in a small-scale production conditions. Bulletin of Mechanical Engineering, 2012, No. 5, pp. 81–82.
2. Kolesnikova O.V., Lelyukhin V.E. Organization of small-scale production planning system // Collected works: The current state and prospects of the development of technical sciences. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Responsible editor Sukiasyan A.A., 2015, pp. 62–65.
3. Fedorov V.K., Epaneshnikova I.K. Features of quality assurance of the organization of a single (small-scale) production // Collected works: Quality Management. Selected proceedings of the Fourteenth International Scientific and Practical Conference. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Moscow State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky», 2015, pp. 391–394.
4. Tipner L.M., Iskhakova N.R. Problems of organization in conditions of single and small-scale production // Economics and Business: theory and practice, 2019, No. 5-3, pp. 97–102.
5. Kudasheva I.O., Kostin D.A., Kakova Ya.D. Structural organization of technological processes and systems in medium-scale and small-scale production // Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University, 2022, vol. 22, No. 8, pp. 82–92.
6. Matveeva E.A. Organization of small-scale production of machine-building enterprises in the conditions of computerization // Bulletin of the Volga State University named after V.N. Tatishchev, 2012, No. 4 (20), pp. 51–61.
7. Savinov S.V. Methods and techniques for improving the efficiency of small-scale production // Modern science: actual problems of theory and practice. Issue: Natural and Technical Sciences, 2021, No. 5, pp. 104–110.
8. Technologist's reference book / under the general editorship of A.G. Suslov. Moscow: Innovation Mechanical Engineering, 2019, 800 p.
9. Bazrov B.M. Module technology // Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2011, No. 4, pp. 3–10.
10. Bazrov B.M. Organization of machine-building production based on module technology // Problems of mechanical engineering and reliability of machines, 2006, No. 6, pp. 67–78.
11. Organization and planning of machine-building production (production management) / Gracheva K.A., Zakharova L.A., Odintsova L.A., et al; edited by Yu.V. Skvortsova, L.A. Nekrasova. Moscow: Vysh. shk., 2003, 470 p.

Статья поступила в редакцию 11.09.2023; одобрена после рецензирования 17.09.2023; принята к публикации 21.09.2023.

The article was submitted 11.09.2023; approved after reviewing 17.09.2023; assepted for publication 21.09.2023.