

УДК 621.757**ВЫБОР КОМПАНОВКИ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ-ШЕСТЕРЕН**

Лидия Александровна Казарина⁽¹⁾, Андрей Владимирович Погорелый⁽²⁾

Студент 5 курса^{(1),(2)},

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Научный руководитель: С.Л. Петухов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Важнейшим условием качественного группирования является достоверный выбор информативных признаков и их значений при определении подобия деталей. Правильный выбор существенно зависит от состава технологического оборудования гибкой производственной системы (ГПС), на котором будет проводиться обработка [1, 2]. Для проектируемой ГПС задача группирования решалась одновременно с определением структуры группового технологического процесса и структуры компоновочной схемы ГПС.

Описание детали x_i проводится при помощи универсального набора переменных: геометрической формы детали, массы и материала заготовки, габаритных размеров, точности размеров и качества поверхностей, серийности изготовления, взаимное расположение элементарных обрабатываемых поверхностей с одной стороны детали, а также взаимное расположение сторон обработки в пространстве.

Для выражения принадлежности детали x_i к каждой группе использовалось понятие – характеристическая функция $\mu_A(i)$, значение которой указывает, является ли (да или нет) деталь x_i элементом подмножества деталей с данным признаком, то есть $\mu_A(i)=1$, если $i \in A$ и $\mu_A(i)=0$, если $i \notin A$. Такое представление привычно для существующих методик группирования, предполагающее четкое отнесение детали к какой-либо группе.

Для каждой детали задавались вектора-характеристики $x = (x_1, x_2, \dots, x_l)$, где l – количество признаков подобия, а $x_i, i = 1, 2, \dots, l$ – количественные выражения близости деталей по каждому из признаков. Векторы-характеристики деталей определялись на основании группового технологического процесса обработки или сборки, когда размерность векторов определяется числом элементарных технологических переходов для обработки всех деталей группы, а компоненты векторов равны 1 или 0 в зависимости от того, выполняется или нет данный переход для конкретного изделия.

Изделия распределяются по группам по степени их близости к векторам-представителям групп. Каждый из векторов-представителей имеет свою область притяжения, попадание в которую вектора-характеристики означает принадлежность этого изделия соответствующей группе. Для разбиения изделий на группы используется аппарат теории нечетких множеств. Каждой из групп, имеющей вектор-представитель V_1, V_2, \dots, V_m ставится в соответствие нечеткое множество $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ изделий из общей совокупности изделий $x (A_j \in x)$. Изделие с вектором-характеристикой $x_i \in x$ включается в каждое множество A_j с определенной степенью принадлежности μ_{ij} , заключенной между 0 и 1.

μ_{ij} представляет собой нормированную степень близости вектора-характеристики x_i к вектору-представителю V_j .

Для расположения векторов-представителей вблизи центров группирования после определения степеней принадлежности производится уточнение векторов-представителей по формуле:

$$V_j^1 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ij}^2 x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{ij}^2}$$

Это позволит сдвинуть вектор V_j ближе к центру группирования векторов x_i , имеющих высокие степени принадлежности к j -й группе.

После уточнения векторов-представителей уточняются μ_{ij} - степени принадлежности, затем снова уточняются векторы-представители и т.д. Разделение на группы заканчивается, когда очередное уточнение векторов-представителей не приводит к существенному их изменению, то есть $\max \|V_j - V_j^1\| \leq \varepsilon$, где ε – выбранный параметр останова алгоритма расчета.

Тип применяемого оборудования может существенно повлиять на время переналадки.

В нашем случае эта задача решалась приближенно на основе балльной системы путем разделения всех операций, по которым операции различаются между собой на группы в порядке возрастания сложности переналадки и присвоения определенного балла сложности для операций каждой группы. Описание каждой детали включало совокупность элементарных технологических переходов, необходимых для ее полной обработки. Задав ограничения на последовательность и совмещение переходов в зависимости от характера обработки, требований к точности и качеству обработки, возможностей оборудования, можно получить информацию о наименьшем числе позиций для обработки и о совокупности элементарных операций, которые могут быть объединены в одну позицию.

Сравнивая между собой полученную информацию о требованиях к обработке двух деталей, можно:

- выделить одинаковые операции на одинаковых позициях, требующих применения одних и тех же инструментов и режимов обработки с одинаковой ориентацией инструмента относительно сторон обработки (балл сложности переналадки – 0);
- выделить операции, требующие только замены инструмента или добавления его в многоинструментальную силовую головку (балл сложности переналадки – 1);
- выделить операции, требующие новой настройки силовых головок (изменения режимов резания, ориентации инструмента и т.п. (балл сложности переналадки – 2);
- выделить операции, требующие включения в работу новых силовых головок или замены одних головок другими (балл сложности переналадки – 3);
- выделить операции, для осуществления которых необходимо числа позиций (балл сложности переналадки – 4).

На основании выбранного алгоритма детали разбивались на группы. Векторы-представители групп имеют свою область притяжения, попадание в которую вектора-характеристики означает принадлежность детали соответствующей группе.

Приняв для простоты, что программы выпуска и станкоемкости всех изделий одинаковы, вся программа выпуска разбивается на примерно равные по числу изделий группы. Результаты группирования получаются в виде нечетких множеств, определяющих принадлежность всех изделий к каждой группе. Это позволяет свободно варьировать составами групп и обеспечивать их равномерность по суммарным трудоемкостям обработки в течение года.

Предложенная методика группирования была применена для комплектования партий ведущих шестерен, что дает возможность создания групповых технологических процессов, позволяющих использовать принципы поточно-массового производства при серийной обработке валов-шестерен,

В серийном поточном производстве достигается высокая производительность труда, низкая себестоимость изделий, сокращается цикл производства.

Ведущие шестерни имеют идентичную конструкцию, и для их обработки может быть использовано однотипное оборудование с переналадкой определенных элементов установочных приспособлений, ориентирующих и подающих детали устройств и механизмов. В связи с необходимостью выполнения обработки ведущих шестерен главной передачи разных производителей предлагается базовая гибкая автоматизированная линия.

При организации гибкого производства в первую очередь выбирается вариант с оптимальной концентрацией видов обрабатываемых изделий по критерию минимальных приведенных затрат. При этом учитываются затраты на оборудование.

Стратегическая гибкость производственной системы определяется количеством видов изделий, а тактическая – концентрацией технологического оборудования, которая определяется частотой переналадок или величиной коэффициента закрепления операций $K_{з.о.}$, который представляет собой отношение числа детали-операций к числу рабочих мест, соответствующего условию изготовления продукции с минимальными приведенными затратами $Z_{пр \min}$.

Одним из важнейших вопросов групповой обработки изделий на переналаживаемом оборудовании является планирование загрузки оборудования с учетом программы выпуска изделий и потерь времени на переналадку для обработки каждого последующего изделия группы.

По числу видов изделий, годовой программы выпуска каждого вида – N , размеру партии – n и периодичности Y запуска отдельных партий изделий на обработку определяется коэффициент закрепления операций $K_{з.о.}$, а также отклонения от оптимальной стратегической и тактической гибкости.

Для обеспечения устойчивого гибкого производства был произведен подбор изделий и скомплектованы группы из них; выбрана наиболее экономичная гибкость и ее организационно-плановое обеспечение, для чего проведена синхронизация позиций обработки, выбраны оптимальные размеры партий изделий, последовательность их запуска. Разработан технологический процесс и планировка линии, спроектирована оснастка для каждой группы изделий, транспортно-загрузочные устройства, рассчитаны загрузка рабочих мест и основные параметры линии.

Проектируемая линия предназначена для обработки пяти видов валов-шестерен.

Для проектируемой линии решалась задача выбора ритма обработки каждого типа шестерен. Поиск оптимальной величины ритма $R_{опт}$ определялся по минимуму приведенных затрат.

Были выбраны оптимальные объемы партий изделий, размеры которых экономически обоснованы и соответствуют оптимальному $K_{з.о.опт}$, подобрана такая периодичность их запуска, чтобы обеспечить выпуск конечной продукции предприятия в заданные сроки и с затратами, равными $Z_{пр \min}$.

Проектирование новых изделий одинакового функционального назначения следует осуществлять по определенным конструктивным типоразмерам с широкой унификацией деталей, узлов и агрегатов с целью создания гибкого производства.

Создание автоматизированного оборудования следует осуществлять не по единичным проектам, а перейти к проектированию базовых образцов, на основе которых можно

воспроизводить на предприятиях отрасли оборудование для обработки и сборки изделий аналогичных конструкций.

Основным результатом этой работы должны быть сокращение сроков и затрат на создание гибкого автоматизированного оборудования, ускорение обновления автомобильной техники, повышение производительности труда при уменьшении численности рабочих, повышение технико-организационного уровня производства и решение ряда вопросов социальной направленности.

В работе в качестве представителей для рассмотрения возможности создания гибкой автоматизированной линии выбраны общие виды наиболее широко применяемых на автомобилях ведущих шестерен задних мостов для одинарных и двойных передач грузовых автомобилей.

Шестерни одинарной главной передачи могут быть гипоидными или со спиральными зубьями. Спиральные зубья ведущей шестерни имеют левое направление, а ведомой – правое. Ведущую и ведомую шестерни подбирают по контакту в зацеплении и подают на сборку парами.

Двойные главные передачи устанавливают на автомобили большой грузоподъемности и на некоторые автомобили средней грузоподъемности, когда общее передаточное число трансмиссии должно быть значительным. В двойной главной передаче крутящий момент увеличивается последовательно двумя парами шестерен, из которых одна – коническая, а другая – цилиндрическая. Обычно обе пары шестерен устанавливают в общем картере, чтобы большая коническая шестерня сидела на одном валу с малой цилиндрической шестерней.

Рассматриваемые в работе одноименные детали (ведущие шестерни) имеют идентичную конструкцию и для их обработки и сборки может быть создано однотипное оборудование с переналадкой инструментов, определенных элементов установочных приспособлений, ориентирующих и подающих детали в зону обработки.

В связи с необходимостью выполнения комплексной обработки ведущих шестерен главной передачи различных автопроизводителей предусматривается базовая гибкая автоматизированная линия для их обработки. В разрабатываемой линии предусмотрена общая транспортно-накопительная система, автоматическое оборудование и рабочие места для обработки ведущих шестерен, общая система управления. На сборку главной передачи ведущая шестерня в сборе должна поступать комплектом с ранее прикатанными и подобранными по контакту ведущей и ведомой шестернями.

В условиях функционирования группового гибкого автоматизированного производства на первый план выдвигаются определенные требования к конструкции собираемых изделий. При этом необходимо рассматривать два вида требований:

- конструкторско-технологические требования к деталям для обработки по одному групповому процессу с применением однотипных средств технологического оснащения;
- требования к изделиям с возможностью максимальной автоматизации процесса обработки.

Одним из элементов, способствующих успеху создания группового производства, является создание базовой конструкции изделия. В качестве базовой конструкции следует выбирать детали, обладающие наибольшим числом общих признаков, присущих деталям всех видов одного и того же назначения. Остальные конструкции данного вида должны быть модификациями базовой.

Анализ конструкций рассмотренных деталей показывает, что все эти детали спроектированы без учета требований к унификации и взаимозаменяемости, что приводит к увеличению номенклатуры конструкторско-технологических групп изделий одного функционального назначения и усложнению средств технологического оснащения групповых процессов обработки.

Особое значение в условиях группового производства приобретает унификация и типизация отдельных элементов деталей в пределах конструкторско-технологических групп

объектов производства. Унификация и типизация должна охватывать и ограничивать применение в конструкциях деталей неунифицированных резьбовых и шлицевых соединений, диаметров отверстий и валов и т.п.

При конструировании деталей одной и той же конструкторско-технологической группы необходимо учитывать идентичность методов достижения точности в процессе образования отдельных поверхностей.

Автоматизация процессов обработки может быть облегчена путем использования прогрессивных загрузочных и контрольных устройств.

Для изделий, объединенных в одну конструкторско-технологическую группу, необходимо иметь одинаковую схему базирования деталей в приспособлениях. Технологическая база должна обеспечивать достаточную устойчивость и жесткость установки детали, что достигается соответствующими размерами и качеством базовых поверхностей детали, а также их взаимным расположением. При построении маршрута обработки следуют соблюдать принцип постоянства баз. На всех операциях в качестве технологических баз необходимо использовать одни и те же поверхности детали. Выполнение этого требования особенно важно при обработке на автоматизированной линии, где каждое изменение положения детали влечет за собой введение дополнительных устройств линии, а также нарушает однотипность конструкций приспособлений.

Для автоматической обработки деталям необходимо придавать простые и симметричные формы. Это упрощает ориентацию заготовок при выдаче их из бункерно-ориентирующих устройств на рабочую позицию автоматического оборудования. Ориентация, то есть придание заготовкам вполне определенного положения в пространстве – это основной первоначальный и наиболее сложный этап автоматической установки с помощью манипулятора. Главные факторы, определяющие сложность автоматического ориентирования заготовок в бункерно-ориентирующих устройствах, это число осей и плоскостей симметрии, которые имеет деталь, и соотношение ее габаритных размеров. Задача автоматической ориентации деталей часто затрудняется или становится невозможной в тех случаях, когда несимметричность выражается слабо различимыми внешними признаками. Для улучшения ориентации таких деталей их конструкцию изменяют, предусматривая уступы, срезы, дополнительные отверстия и другие элементы.

Гибкую автоматизированную линию для обработки шестерен главных передач предлагается оснастить устройствами, автоматизирующими подачу, ориентацию и установку ведущей шестерни. Автоматизировать на линии также операции по контролю биения фланца ведущей шестерни и клеймению.

Линия обеспечивает выпуск пяти различных типов шестерен главных передач с возможностью перехода на другие типы.

Порядок запуска различных типов шестерен на обработку решался с помощью метода ветвей и границ. Процесс решения задачи применительно к определению оптимального порядка запуска основан на переходе от множества всех последовательностей обработки различных типов шестерен к более мелким подмножествам и вычисления для каждого из них нижней границы затрат времени на переналадку. Все множества последовательностей запуска изделий представляются в терминологии теории графов вершиной дерева, подмножества – узлы дерева, а процесс разделения подмножеств – его разветвлением. Задача решается путем преобразования матрицы и построения графа.

Полученная последовательность переналадок при запуске на обработку у пяти типов главных передач обеспечивает минимальные затраты на переналадку.

На проектируемой переменного-поточной линии со сменой вида изделий без переходящих заделов при определении оптимального объема запускаемых партий шестерен принималось, что потери времени на переналадку при переходе от обработки одного типа к другому должны

быть минимальными: $f(x) = \sum_{i=1}^m t_{\text{при}}(r_i) \rightarrow \min$, где $t_{\text{при}}(r_i)$ - время простоя линии из-за переналадок в зависимости от ритма r_i выпуска i -го изделия.

$r_i \geq t_i / q_i$, где r_i - ритм выпуска i -го изделия; t_i - время сборки i -го изделия; q_i - количество i -х изделий в группе.

При смене типа изделий на линии без переходящих заделов валы-шестерни снимаются с линии в полной степени готовности. В целях уменьшения потерь времени при смене изделий производства был выбран параллельный вид запуска. Запуск очередной партии осуществляется по мере освобождения рабочих мест от предыдущих изделий.

Одним из наиболее сложных этапов проектирования технологических процессов является расчет реальной производительности оборудования с учетом надежности его работы. Если оборудование на какой-то позиции не обеспечивает заданной производительности, то встает вопрос: что более выгодно – повысить надежность оборудования на этой операции или изменить структуру линии, введя дополнительный поток на данном участке линии.

В ходе проектирования рассматривается работа лимитирующего участка линии как системы, состоящей из комплектующих элементов, для каждого из которых известны средняя

наработка на отказ $t_{\text{раб}_i}$ и среднее время восстановления $t_{\text{рем}_i}$ ($i=1 \dots N$).

Если необходимо повысить надежность позиции линии до заданного значения повышением надежности комплектующего позицию оборудования, то используется метод уравнивания чувствительности по этим узлам.

Чувствительностью станка по i -му узлу называется скорость изменения вероятности P безотказной работы станка в зависимости от изменения его стоимости C при условии изменения этих величин только за счет вероятности безотказной работы i -го узла. Чувствительность станка по i -му узлу будет:

$$l_i = \frac{P \left(\ln \frac{1}{P_i} \right)^{a_i + 1}}{a_i C_{o_i} \left(\ln \frac{1}{P_{o_i}} \right)^{a_i}}$$

Принятый метод уравнивания чувствительности станка по отдельным комплектующим узлам заключается в определении того, как будет изменяться вероятность безотказной работы станка в зависимости от изменения его стоимости при изменении вероятности безотказной работы любого из основных комплектующих узлов.

Это дает возможность оценить пропускную способность каждой операции технологического процесса, выполняемого на переменном-поточной линии со сменой вида изделий, чтобы добиться заданной производительности.

Таким образом в статье рассмотрен вопрос повышения эффективности ГПС на основе выбора оптимального компоновочного решения, позволяющего обеспечить минимум приведенных затрат при наиболее целесообразных надежности и производительности линии.

Литература

1. Елхов П.Е., Бухтеева И.В. Повышение эффективности загрузки оборудования гибкой автоматизированной линии с помощью статистического моделирования. // Транспортное дело России. - 2013. - №5.
2. Копылов Л.В., Дмитриев Ю.М., Петухов С.Л. Оптимизация качества продукции с позиций экономической эффективности производства. // Известия МГТУ «МАМИ». 2013, Т.2. - №1(15).