

Направленный выбор компоновки гибкой автоматизированной линии сборки валов КП

к.т.н. доц. Бухтеева И.В., к.т.н. доц. Аббясов В.М., к.т.н. проф. Елхов П.Е.
Университет машиностроения
8(495)223-05-23 доб. 1271

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения метода направленного поиска при разработке переналаживаемых сборочных модулей и приведен один из вариантов роботизированной линии сборки валов коробок передач автомобилей.

Ключевые слова: направленный поиск, сборочный модуль, технологический процесс, годовые затраты, гибкая линия

Задачи, стоящие перед машиностроением по оснащению предприятий современным технологическим оборудованием, требуют разработки средств автоматизации: роботизированных технологических комплексов, автоматизированных и автоматических линий. В особенности это касается сборочного производства, где сосредоточен значительный объем трудозатрат с большим удельным весом ручных работ. Процесс проектирования сборочных модулей включает выбор их рациональной структуры и компоновки. При разработке переналаживаемых сборочных модулей решаются задачи выбора наиболее рациональных методов и способов сборки, реализуемых с помощью исполнительных механизмов сборочных автоматов, в состав которых входят устройства базирования и относительного ориентирования собираемых компонентов на позициях сборки, средства автоматизации и т.п.

Технологический процесс сборки представляется в виде рациональной последовательности отдельных переходов, на каждом из которых устанавливается лишь один сборочный компонент (деталь, соединение, узел). Для каждого перехода определяются необходимое оборудование, инструмент, приспособления с учетом предъявляемых к нему технологических требований, рассчитываются нормы времени его выполнения.

Порядок сборки определяется собираемостью (все детали ограничены в перемещениях по всем направлениям); последовательностью установки деталей на каждом этапе (не допускается появления ситуации, при которой одни детали закрывают доступ к другим); положением деталей относительно друг друга (каждая деталь ориентирована относительно другой); возможностью параллельной сборки на одной позиции; способом выполнения перехода – ручным или автоматизированным; местоположением и вместимостью промежуточных накопителей.

Валы в сборе состоят из двух групп деталей – взаимозаменяемых (вторичный вал, подшипники, синхронизаторы, шайбы, втулки и т.п.) и комплектных невзаимозаменяемых (все шестерни, первичный и промежуточный валы), которые предварительно подобраны по ряду параметров на участке комплектации. Основное условие при сборке валов – их групповая сборка, то есть при сборке все невзаимозаменяемые детали не должны быть разукomплектованы. Общее количество деталей, составляющих комплект – 42 штуки.

Основными технологическими операциями являются: установка на вал игольчатых и конических подшипников; установка шестерен и синхронизаторов на шлицы вала; установка на вал тонких шайб и втулок; запрессовка шестерен и втулок на валы; установка запорных колец на вал; сборка корпусов синхронизаторов с шестернями; заворачивание и кернение гайки; запрессовка втулки в торец вала.

В основном конструкция валов отвечает требованиям, предъявляемым к изделиям, подлежащим автоматической сборке, за исключением кернения гайки после ее установки на вал. Сборка промежуточного вала без шпоночных и шлицевых соединений, которые были заменены горячей напрессовкой шестерен на гладкие шейки вала, является прогрессивным решением. Прессовая посадка обеспечивается за счет охлаждения внешней детали и концентричного сжатия внутренней.

Сборку валов можно осуществить, используя большое количество вариантов техноло-

гических процессов, отличающихся маршрутом, уровнем автоматизации, концентрацией сборочных операций на единице оборудования, компоновочным решением сборочного оборудования, видом межоперационной связи и т.д.

Проектирование технологических процессов автоматизированной сборки валов и технических средств их реализации представляет собой сложную задачу оптимизационного синтеза, целью которой является разработка процесса, позволяющего осуществить сборку необходимого количества изделий с заданными функциональными характеристиками при минимальных затратах на производство. Учитывая, что эффективность технологических процессов сборки зависит от множества факторов, характеризующих, как конструктивно-технологические особенности собираемого изделия, так и свойства производственно системы, задача эта решается поэтапно с использованием принципов решения многоуровневых оптимизационных задач технологического проектирования, к основным из которых относятся:

6. Последовательное разделение общей задачи на подзадачи, решаемые на отдельных уровнях (принцип многоуровневой декомпозиции). Уровни различаются степенью детализации проектируемого процесса, зависящей от полноты представления исходной информации. На начальных этапах, характеризующих малым объемом и достоверностью информации, принимают укрупненные решения о структуре и параметрах процесса – строят технологическую схему сборки изделия. На каждом последующем этапе формируют более полный массив исходных данных и разрабатывают более подробный технологический процесс сборки с учетом решений, принятых на предыдущих уровнях.
7. Отбор рациональных вариантов технологических процессов сборки на каждом уровне проектирования.
8. Иерархический характер связи между уровнями и приоритет выбора этапов верхнего уровня на соответствующий этап нижнего уровня. Согласно этому принципу формирование вариантов уточненного технологического процесса сборки каждого последующего уровня производится только на базе оптимальных вариантов предыдущего.

Такой подход позволяет избежать детальной проработки большого количества технологических процессов сборки, допустимых техническими ограничениями, повышает эффективность проектирования. Однако при этом возникает проблема формирования критериев оптимизации каждого уровня. Критерии любого уровня, кроме последнего, носят приближенный характер. Поэтому наиболее рациональным методом решения многоуровневых оптимизационных задач является направленный поиск, при котором на каждом промежуточном уровне отбирается не один, а несколько близких по оценке конкурирующих вариантов. Лишь на последнем уровне выбирается окончательный вариант по критериям технико-экономических показателей технологического процесса сборки (трудоемкость, себестоимость, производительность и т.п.).

На первом уровне проектирования на основе результатов анализа размерной и пространственной взаимосвязи элементов изделия решалась задача выбора метода сборки, исходя из требований к точности замыкающих звеньев размерных цепей. Производилось разбивка конструкции изделия на отдельные узлы (сборка и контроль каждого из которых может производиться параллельно). Выбиралась базовая сборочная единица, обеспечивающая возможность выполнения наибольшего количества операций сборки и контроля без смены схемы базирования.

Основным критерием при выборе наиболее рациональной компоновки сборочного оборудования служат минимальные годовые затраты:

$$Z_j = \sum_{j=1}^K (\delta + \beta) ST_{\phi} N_r + (E + \alpha) \sum_{i=1}^n a_i A_i,$$

где: Z_j – переменная часть годовых затрат, руб/год;

K – число операций для полной сборки изделия, шт;

j – номер варианта;

J – номер операции;
 i – номер сборочной позиции;
 δ – коэффициент заработной платы с начислениями;
 β – общие накладные расходы в долях заработной платы;
 $E=0,15$ – банковский кредит, в долях;
 T_{ϕ} – фактическая трудоемкость сборки изделия, мин;
 S – минутная заработная плата сборщика, руб/мин;
 N_r – годовая программа выпуска;
 A_i – стоимость единицы оборудования на i -й позиции, руб;
 a_i – число параллельно работающего оборудования на i -й позиции, шт.

При расчете годовых затрат для однопозиционных станков принимается, что фактическая и расчетная трудоемкости сборки равны ($T_{\phi_i} = T_p$), тогда количество i -го оборудования рассчитывается по формуле:

$$a_i \geq \frac{N_r T_{ц_i}}{F \eta_i}$$

где: N_r – годовая программа выпуска;
 $T_{ц}$ – цикл работы оборудования;
 F – фонд времени работы оборудования;
 η_i – коэффициент технического использования i -й позиции.

Для автоматизированных линий с жесткой связью:

$$T_{\phi_i} = T_{ц_{\max}} N_p \zeta_i, \quad a_i \geq \frac{N_r T_{ц_{\max}} \zeta_i}{F \eta_i},$$

где: $T_{ц_{\max}}$ – цикл работы оборудования;
 ζ_i – коэффициент, учитывающий влияние рассеивания времени выполнения ручных операций, который определяется на основании хронометража или нормирования входящих в рассматриваемую операцию сборочных переходов по формуле:

$$\zeta_i = \frac{\sigma_i}{\tau_i},$$

где: σ_i – среднеквадратичное отклонение времени выполнения операции на позиции ручной сборки;
 τ_i – среднее время выполнения операции на позиции ручной сборки.

Для многопозиционных сборочных систем:

$$T_{\phi_i} = T_{ц_{\max}} N_p, \quad a_i \geq \frac{N_r T_{ц_{\max}} \gamma_i}{F \eta_i},$$

где: γ_i – коэффициент, учитывающий влияние накопителей, который определяется для каждой рабочей позиции по экспериментальным графикам, построенных на основании данных моделирования работы оборудования.

Для однопозиционных станков:

$$T_{\phi_i} = T_{p_i},$$

где: T_{p_i} – расчетная трудоемкость сборки;

$$a_i \geq \frac{N_r T_{ц_i} (1 + \sum B_i)}{F},$$

где: B_i - удельная длительность простоев оборудования.

Для гибких производственных систем:

$$T_{\phi_i} = T_{ц_{\max}} N_p (1 + \sum B_i), \quad \text{где } a_i \geq \frac{N_p T_{ц_{\max}} (1 + \sum B_i)}{F}.$$

Структурные схемы сборочного оборудования весьма разнообразны. В зависимости от количества и последовательности выполнения сборочных переходов, числа позиций и многопозиционных модулей, они разделены на три класса: с первой (К1), второй (К2) и третьей (К3) степенью концентрации операций). Концентрация К1 имеет место, если изделие собирается на однопозиционном модуле с одной или нескольких сторон. На этом оборудовании при соответствующем расположении манипуляторов возможна сборка изделий с нескольких сторон (К1Пр), последовательна сборка с одной стороны (К1Пс) и параллельно-последовательная сборка с нескольких сторон (К1ПрПс). При К2 используется многопозиционное оборудование, которая может выполняться параллельно (К2Пр), последовательно (К2Пс) и параллельно-последовательно (К2ПрПс). Для К3 многопозиционные модули объединяются в автоматические сборочные линии различных структурных компоновок, которые делятся на подклассы К3Пр, К3Пс и К3ПрПс.

Множество вариантов схем компоновок оборудования можно разделить на несколько подмножеств: однопозиционные модули, многопозиционные модули, системы из многопозиционных модулей или линий. При таком большом количестве вариантов компоновок оценка их путем полного перебора является громоздкой, особенно при большом количестве операций, объединенных в каждом варианте.

В этом случае метод направленного поиска упрощает решение задачи выбора оптимального технологического процесса сборки изделия и рациональной структурно-компоновочной схемы сборочного агрегатного оборудования, давая возможность на каждом этапе поиска более глубоко прорабатывать рассматриваемый вариант технологического процесса сборки.

Для разработки ГПС сборки валов КП и для проверки методики проектирования был проведен анализ материалов по прогрессивной технологии сборки узлов коробок передач.

В качестве объектов сборки на гибкой автоматизированной линии были выбраны валы первичные, промежуточные и вторичные заводов КамАЗ, ЗИЛ и ГАЗ.

На КамАЗе сборка шестерни четвертой передачи со втулками и 88 роликами осуществляется на 16-позиционном автомате фирмы «Nagel» (ФРГ) производительностью 80 шт/ч.

Сборка шестерен производится в приспособлениях, жестко закрепленных на планшайбе поворотного электромеханического стола. На автомате можно собирать шестерни трех различных модификаций, что достигается заменой центрирующей вставки приспособления.

Загрузку шестерен и втулок в приспособление осуществляет оператор на первой позиции автомата, он же производит разгрузку собранных шестерен.

На пятой позиции автомата в шестерню устанавливаются 44 ролика нижнего ряда. Из двух вибробункеров они подаются по четырем шлангам в делительный диск позиции, имеющей 44 ячейки. Установка роликов (по два в делительный диск) производится толкателем. После вставки очередного ролика диск при помощи храпового механизма поворачивается для установки следующего. После заполнения всех 44 ячеек на делительный диск опускается монтажная головка, захватывающая ролики при помощи вакуумных трубок. Затем она вместе с роликами перемещается в зону автомата, опускается в собираемую шестерню на поворотном столе и устанавливает ролики, при этом в монтажной головке создается давление воздуха. Аналогичным образом на двенадцатой позиции устанавливаются 44 ролика верхнего ряда.

На девятой позиции производится автоматическая установка промежуточной втулки, которая подается толкателем из съемного магазина емкостью 80 деталей.

На автомате имеются две позиции (седьмая и одиннадцатая) для смазки роликов при помощи двух маслораспылителей, которые опускаются в шестерню и, вращаясь на 180° ,

осуществляют смазку роликов. Подача масла производится сжатым воздухом.

После каждой рабочей позиции автомата имеются позиции для контроля, который осуществляется автоматическими контрольными головками, фиксирующими наличие деталей и правильность их установки. Если на контрольной позиции автомата обнаружено отсутствие в собираемой шестерне какой-либо детали или неправильная ее установка, то следующая позиция отключается. Неправильно собранные детали транспортируются до пятнадцатой позиции, где они автоматически удаляются из автомата.

Сборка вторичного вала коробки передач автомобилей КамАЗ производится на 35-позиционной автоматизированной линии фирмы «Nagel» (ФРГ) производительностью 80 шт/ч.

Сборка осуществляется в приспособлениях-спутниках, перемещение которых в зонах рабочих позиций производится штанговым транспортером. На участке загрузки и разгрузки собранных валов спутники перемещаются при помощи приводного рольганга, служащего для накопления деталей. Между спутниками движутся каретки с деталями вторичного вала, которые устанавливаются на них при загрузке линии и в дальнейшем монтируются на вал на соответствующих позициях. Линия оснащена 48 спутниками и 48 каретками.

Управление линией осуществляется с центрального пульта, на котором фиксируется окончание работы автоматических позиций, а также аварийное выключение. Кроме того, каждая сборочная позиция имеет свой пульт управления.

Линия имеет 15 рабочих позиций, из которых 7 автоматических, 6 – полуавтоматических и 2 – для ручной сборки.

Автоматические позиции линии являются самостоятельно работающими станциями и могут присоединяться к линии в любом месте. Соединение с пультом управления линии и приводом осуществляется при помощи штепселей и подвода гидравлики. Линию обслуживают восемь сборщиков.

Сравнивая одноименные валы коробок передач ЗИЛ и ГАЗ, можно отметить определенные конструктивные различия, влияющие на выбор средств технологического оснащения процессов сборки.

На первичных валах 4421-1701025 и 4301-1701022 фиксация подшипника осуществляется стопорными кольцами, а на первичном валу 52-1701025 – гайкой с затяжкой ее до определенного крутящего момента с последующим раскерниванием кромок.

Установку шестерен на промежуточных валах 4421-1701047 осуществляют напрессовкой на гладкие шейки вала с их предварительным подогревом, а на промежуточный вал 4301-1701050 – на шлицы.

На вторичный вал 4421-1701100 шестерни 4421-1701181, 4421-1701127, 4421-1701112 и 4421-1701140 устанавливают на роликовые подшипники с применением переходных втулок, а на вторичный вал 4301-1701100 аналогичные шестерни устанавливают на роликовые подшипники без применения переходных втулок.

В конструкции синхронизатора коробки передач 4421-1701150 и синхронизатора демальпликатора 4421-1721150 в отличие от синхронизаторов 4301-1701186 и 4301-17011867 введены фиксаторы каретки с пружинами. Для выполнения под сборки фиксаторов в собираемый узел требуются ручные операции. Остальные конструктивные элементы синхронизаторов идентичны и требуют для их сборки однотипного технологического оборудования.

Так как все рассмотренные валы КП имеют идентичную конструкцию, то целесообразно создание базовой гибкой автоматизированной сборочной линии с применением однотипного сборочного оборудования. Переналаживаемыми могут быть некоторые элементы технологической оснастки.

Одной из важных задач при проектировании технологического процесса сборки на многопозиционном оборудовании является распределение сборочных переходов по позициям. Решению этой задачи предшествует работа по составлению маршрута сборки, определяющего последовательность процесса и состав сборочных единиц.

На первом этапе проектирования формируется три варианта процесса сборки: вариант

I представляет собой первую степень концентрации элементарных операций (K1) – сборку на отдельных гибких сборочных модулях. На каждом стенде изделие собирается от начала до конца. Первичный вал собирается на одном модуле. Для сборки промежуточного вала необходимо 6 модулей, для вторичного – 11 модулей, пять из которых предназначены для сборки вала со стороны А и шесть – со стороны Б.

Вариант 2 (K2) реализуется на многопозиционных сборочных стендах, один из которых предназначен для сборки первичного вала, три – для сборки промежуточного вала и пять – для вторичного.

Вариант 3 (K3) представляет собой сборку на автоматической линии, смонтированной из многопозиционных сборочных модулей, объединенных в единый комплекс транспортером.

На первом этапе поиска наименьшую величину приведенных затрат показал вариант автоматической линии из многопозиционных модулей.

Выбранный на первом этапе оптимальный вариант на втором этапе оптимизации сравнивается с другими вариантами компоновки оборудования того же класса концентрации операций, что и оптимальный. Поиск перспективного подкласса схем компоновок проводится в классе автоматизированных сборочных линий из многопозиционных модулей – K3. Сравнение ведется между вариантами K3Пр (многопозиционные сборочные линии, связанные транспортером в параллельно работающую систему) и роботизированной линией сборки – K3ПрПс.

На роботизированной линии сборки часть операций сборки валов осуществляется на четырех модулях со съемом валов со спутника, остальные операции производятся непосредственно на несинхронном горизонтально-замкнутом конвейере. Съем валов, установка их в приспособления и возврат на спутник выполняют манипуляторы. На четырех позициях используются гибкие сборочные модули, имеющие различные оправки.

На первых двух позициях производится сборка промежуточного вала, на третьей – сборка первичного вала, на семи последующих позициях – сборка вторичного вала.

Для выбора наиболее перспективного подкласса схем компоновок оценка вариантов на втором этапе осуществляется с учетом надежности оборудования, то есть с большим приближением к реальным условиям.

На третьем этапе оптимизации при расчете приведенных затрат учитывается надежность сборочного оборудования. Исходные данные при определении надежности автоматических позиций получены при хронометраже работы автоматизированных линий сборки на различных заводах.

Сравнение сложных структурных компоновок автоматических сборочных линий, состоящих из отдельных позиций с промежуточными накопителями заделов, невозможно без определения коэффициента технического использования этих линий. Основными показателями, определяющими $\eta_{\text{ти}}$ сборочной линии, являются число позиций в линии, надежность каждой сборочной позиции, то есть величина внецикловых потерь времени, и количество изделий, способных разместиться между сборочными позициями в случае остановки одной из них.

Основная сложность определения коэффициента технического использования многопозиционных сборочных линий со сложными структурными схемами состоит в определении γ – коэффициента наложения потерь между отдельными позициями линии. Для вычисления γ моделировалась работа сравниваемых компоновок сборочных линий по разработанной программе моделирования.

Как показали расчеты, наименьший уровень приведенных затрат соответствует варианту роботизированной сборочной линии (рисунок 1).

Предложенный метод направленного поиска позволяет:

- 1) уменьшить количество сравниваемых вариантов;
- 2) упрощает решение задачи выбора оптимального технологического процесса сборки изде-

лия и рациональной структурно-компоновочной схемы сборочного агрегатного оборудования;

- 3) дает возможность на каждом этапе поиска более глубоко прорабатывать рассматриваемый вариант технологического процесса сборки.

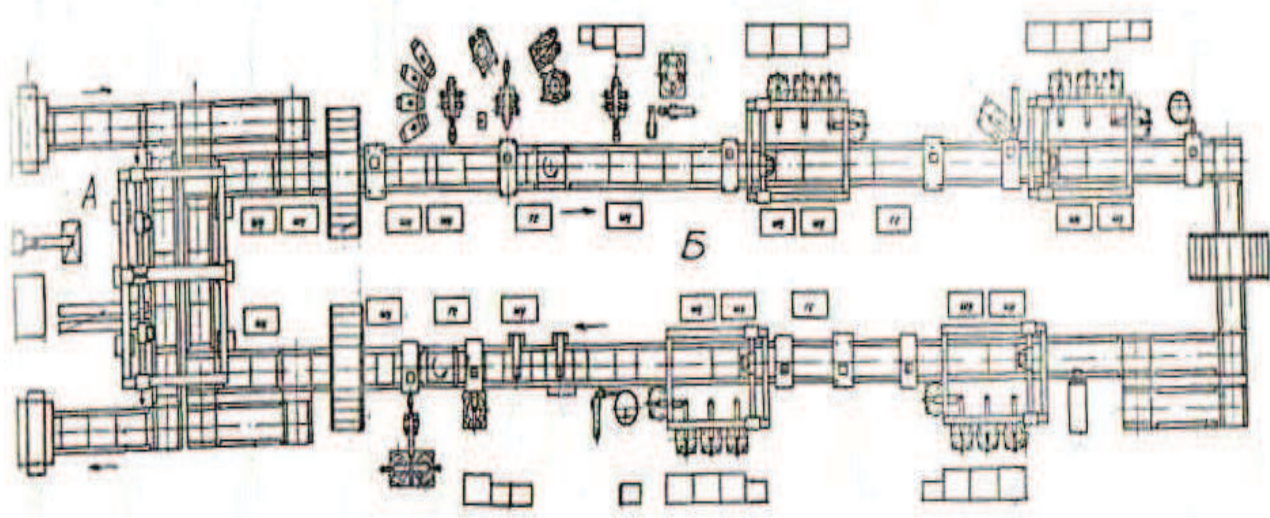


Рисунок 1. Роботизированная линия сборки валов КП

Литература

1. Бухтеева И.В., Елхов П.Е. Групповая гибкая технология сборки задних мостов грузовых автомобилей. Известия МГТУ «МАМИ», 2012, № 14 с. 7-18.
2. Бухтеева И.В., Елхов П.Е. Повышение надежности сборочного оборудования до заданного уровня. Международный научный симпозиум «Автотракторостроение-2009. Книга 11» М., МГТУ «МАМИ»