

V. 83 - 86

Цена 11 коп.

Индекс 70067

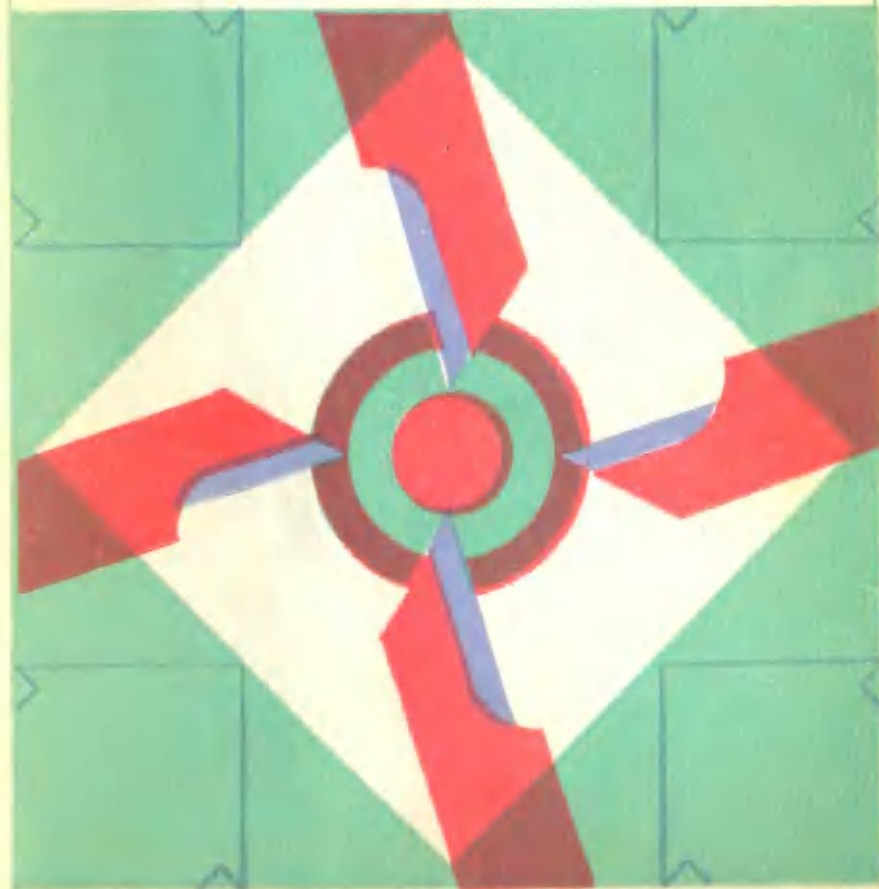
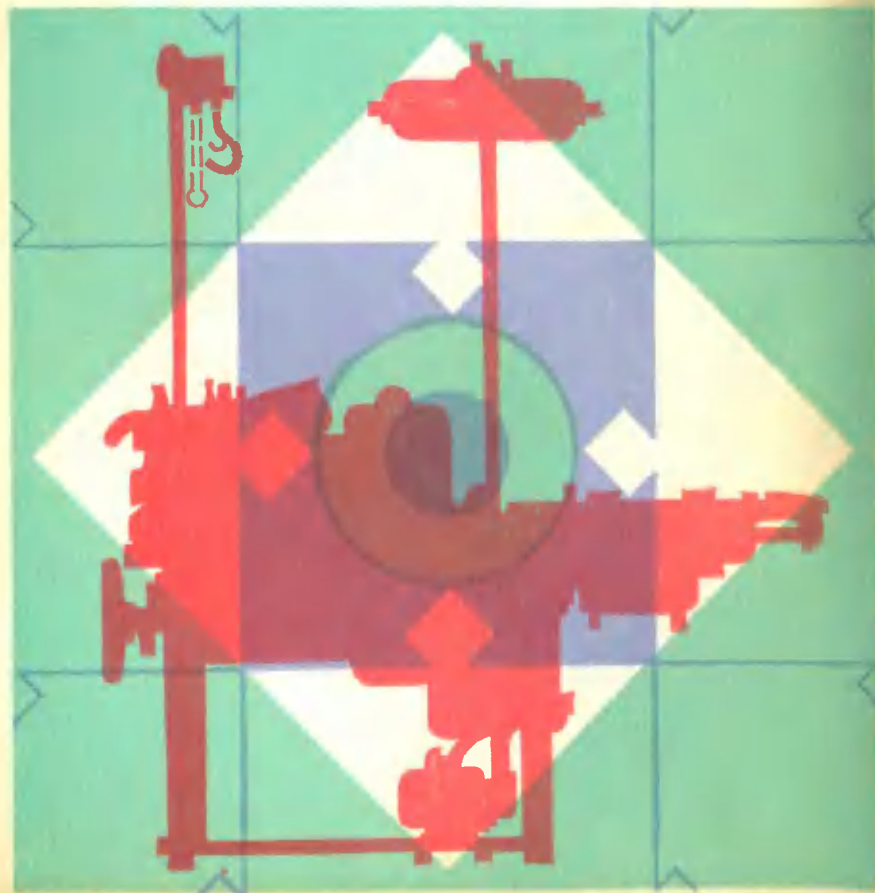
НОВОЕ
В ЖИЗНИ НАУКЕ
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

10/1977

СЕРИЯ
ТЕХНИКА

И. М. Колесов
СЛУЖЕБНОЕ
НАЗНАЧЕНИЕ
ИЗДЕЛИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ
УСЛОВИЯ



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Служебное назначение машины | 11 |
| Исполнительные поверхности, связи, параметры точности | 22 |
| Служебное назначение и конструирование | 40 |

Колесов И. М.

К60 Служебное назначение изделия и технические условия. М., «Знание», 1977.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника», 10. Издается ежемесячно с 1961 г.)

Автор показывает, что качество, эффективность машины, прибора, аппарата находятся в прямой зависимости от точности формулировки его служебного назначения и технических условий; что возросшие требования к прецизионности оборудования заставляют пересмотреть отдельные привычные представления о машине, детали и методах достижения точности.

Материал рассчитан на читателя, интересующегося проблемами технического прогресса.

30100

603

© Издательство «Знание», 1977 г.

Введение

Повышение качества продукции и эффективности общественного производства — первооснова развития нашей социалистической экономики в десятой пятилетке, пятилетке эффективности и качества. Какую бы проблему мы ни взяли, к каким бы техническим, научным, социально-экономическим решениям ни пришли — все необходимо рассматривать через призму качества.

Советская экономика достигла той стадии, когда удовлетворение потребностей людей в предметах потребления высокого качества, как и использование в процессе производства новейшей техники и технологий, становится условием дальнейшего продвижения вперед. Стало очевидным, что объем продукции и ее качество лишь в совокупности определяют степень удовлетворения общественных потребностей. Количество и качество новой техники (да и модернизируемой старой) выступают как взаимосвязанные цели производства. Значимость достижений одной из целей в полной мере зависит от достижения другой. Количественные показатели производства меняются в зависимости от качества выпускаемой продукции. Чем ниже качество продукции, тем ниже значимость количественных показателей.

Ассортимент изделий, удовлетворяющих самые различные потребности человека и общества, огромен, диапазон их применения варьируется, как говорится, «от булавки до космической станции». Столь же разнообразны функции изделий, их габариты, условия эксплуатации, трудоемкость изготовления; они могут быть серийными, массовыми, а могут быть уникальными, единичными. Короче, если бы можно было составить, собрать воедино набор всех параметров, характеризующих различные изделия, то получился бы огромный мас-

сив данных, порядок которого был бы (как минимум!) на единицу больше общего числа единиц промышленной продукции.

Что такое изделие? ГОСТ 2.101—66 «ЕСКД. Виды изделий» определяет, что «изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению их на предприятии». Обобщающий, универсальный характер данного определения отражает стремление найти наиболее всеобъемлющую объективную характеристику определяемому многообразию. Это стремление к обобщению вообще характерно для современных методов «работы» с проблемами, при решении которых необходимо систематизировать большое количество разнообразных объектов, процессов и явлений.

Системный, комплексный подход присущ и методам решения задач, связанных с выявлением общих закономерностей и главных направлений работ при формулировании служебного назначения изделий. В самом деле, любой объект, получивший «право» называться изделием, есть конечная точка приложения многих сил, итога ряда последовательных и одновременных процессов, технологических операций, конструкторских исследований и разработок; изделие — это конечный результат замысла.

Следует подчеркнуть особую значимость точности формулирования служебного назначения изделия в формировании его качества. Служебное назначение должно отражать, в первую очередь, общественную необходимость в том или ином изделии, аппарате, машине. Оно должно учитывать уровень и состояние научно-технических разработок в данной конкретной области. Ошибку на любом этапе жизненного цикла можно исправить, ошибку в формулировании служебного назначения исправить нельзя. А ведь качество создаваемого продукта зависит прежде всего от качества документа, который мы называем «служебным назначением».

Жизненный цикл, жизненная «цепочка» любого, даже не слишком сложного изделия достаточно длинна. В нее включены и процесс формулирования требований к будущему изделию, и разработка соответствующей документации (конструкторской, технологической и т. д.); и весь собственно технологический цикл его непосредственного изготовления, и целый комплекс «испытательных» процедур, упаковка, часто хранение, наконец,

транспортирование и лишь после всего этого — эксплуатация.

Уже из перечисления укрупненных звеньев жизненного цикла видно, что совокупность объектов, условий и операций, которые в конечном итоге приводят к изделию — есть большая сложная система, определяемая как своими внутренними элементами и их структурой, так и требованиями внешней среды. А отсюда следует вывод: для достижения качественного конечного результата, т. е. для получения изделия, безусловно соответствующего всему, что от него требуется, необходимо не только полностью обеспечить каждый элемент цепочки, но «вытягивать» ее всю, учитывать системный фактор.

Важнейший документ, отражающий именно общесистемный аспект изготовления изделий во взаимосвязке с конкретными требованиями и конкретными условиями, — так называемые технические условия (ТУ). Технические условия — неотъемлемая часть технической документации на продукцию (изделие, материал, вещество и т. п.), на которую они распространяются. Они должны содержать **все требования** (подчеркнуто мной. — И. К.) к продукции, ее изготовлению, контролю, приемке, поставке, а также те, которые целесообразно указывать в конструкторской или другой технической документации.

Почему мы вправе назвать ТУ системным документом? Хотя бы потому, что любые ТУ, т. е. ТУ на любое изделие, должны содержать следующие разделы (кроме, разумеется, вводной части):

- технические требования;
- правила приемки;
- методы контроля (испытаний, анализа, измерений);
- транспортирование и хранение;
- указания по эксплуатации (применению);
- гарантии поставщика.

С другой стороны, ТУ тесно «завязаны» со служебным назначением изделий. Наиболее наглядно это можно показать на примере с ГОСТом на ТУ. Действительно, ГОСТ на ТУ как документ, обобщающий, унифицирующий и узаконивающий всю практику их разработки на самые разные изделия, **в качестве примера** приводит не что иное, как формулировки служебного назначения, которые являются в большинстве случаев обязательными.

ми во вводной части ТУ: «...во вводной части... указывают характеристику объекта, в котором используют данную продукцию, общую характеристику или условное обозначение области применения и условий эксплуатации продукции (на открытом воздухе, в условиях влажного тропического климата, в среде осушенного трансформаторного масла и т. п.), например:

«Настоящие технические условия распространяются на магистральный тепловоз М-62, предназначенный для грузовых и пассажирских перевозок в условиях влажного тропического климата», или:

«Настоящие технические условия распространяются на эмаль БТА-185, предназначенную для окрашивания изделий, поставляемых в страны с влажным тропическим климатом».

Прежде чем более детально рассмотреть взаимосвязь между служебным назначением изделия и техническими условиями, необходимо сделать одно замечание терминологического характера, касающееся применения понятия «технические условия». В самом деле, распространившаяся практика употребления этого термина соотносится, главным образом, с обозначением им комплекса физических, технических, технологических и т. д. условий и компонентов, обеспечивающих реализацию заданной целевой функции — изготовление конкретного изделия. С другой стороны, ТУ — это нормативный документ, входящий в комплекс документов, регламентированный государственной системой стандартизации, с четко определенными правилами построения, отбора и изложения материала. Таким образом, вроде бы имеется неоднозначность термина, которую необходимо учитывать. Но в действительности документ «Технические условия» своим содержанием и имеет как раз технические условия — комплекс, набор характеристик, однозначно устанавливающих требования к изделию, к его качеству.

Мы указывали несколько выше, что обязательной структурной составляющей документа ТУ является раздел «Технические требования», в котором указывают требования, «определяющие показатели качества и эксплуатационные характеристики изделия». Показатели и свойства продукции (изделий) обязательно приводятся применительно к условиям и режимам эксплуатации, а также к условиям и режимам испытаний.

Более того, если некоторые требования невозможно установить заранее, так как соответствующие показатели не могут быть выражены непосредственно, а лишь установлены при условии однозначного соблюдения каких-либо других требований (к организации производства, гигиенические требования к производственным помещениям и исполнителям, использование определенных элементов технологического процесса, материалов, покрытий, специального технологического оборудования или оснастки, длительная тренировка, обкатка, приработка, выдержка готовых изделий или материалов, рецептура и т. д.), то и эти последние должны быть также приведены в разделе «Технические требования». Таковы положения ГОСТа. Что же, однако, конкретно может быть включено в ТУ, что из «комплекса» реализуется в «документе»?

В зависимости от характера и служебного назначения изделия в соответствующем ТУ должны быть предусмотрены требования к качеству, которым изделие должно соответствовать. (Заметим, что и термин «качество» многозначен; мы сейчас все чаще отождествляем «качество» с «высоким качеством», понимая под этим высшую степень соответствия заданным целям. Но ведь качество это еще и просто «качество», совокупность разнообразных свойств, непосредственно вытекающих из специфики именно данного изделия, и им реализуемых, в нем «объединяемых». К «первому» качеству, конечно, «идут» через «второе»; но понятия это разные, их не следует смешивать. В ТУ, о которых сейчас речь, требования к «качеству» устанавливаются именно во втором смысле.) Итак, требования к качеству в зависимости от служебного назначения. Что они должны и могут учитывать:

физико-химические, механические и другие свойства, такие, как прочность, твердость, структура, шероховатость поверхности, химический состав, предельное содержание примесей, теплостойкость, термостойкость, износостойчивость, чувствительность, точность и т. п.;

эксплуатационные показатели: производительность, скорость, коэффициент полезного действия, расход электроэнергии, топлива и масла и т. д.;

группа свойств «надежности», т. е. собственно надежность, а также долговечность, безотказность, сохранность и т. д.

требования к конструкции, эргономические, художественно-эстетические, органолептические, биологические, санитарно-гигиенические и другие показатели этого рода (скажем, безопасность в эксплуатации, уровень шума, помехозащищенность, усилия, требуемые для управления и обслуживания, запасы регулировки органов управления, время готовности после включения, запах, вкус, токсичность, маркировочные, защитные и другие виды покрытий и т. п.);

стабильность параметров при воздействии факторов внешней среды (климатических, механических, циклических изменений температуры, агрессивных сред и др.; устойчивость к моющим средствам, средствам дезинфекции, средствам и условиям стерилизации, топливу, маслам; радиационная стойкость и т. д.);

особые требования, такие, как к условиям и мерам предосторожности при транспортировании, хранении, употреблении, к огне- и взрывоопасности, к срокам периодического осмотра, контроля, переконсервации и т. п.

Таким образом, технические условия это как бы многомерная параметрическая функция, каждый конкретный набор значений которой соответствует служебному назначению некоторого изделия. Нахождение же этого «вектора» значений, по сути, предваряет всякую работу по созданию изделия, это и есть начало жизненного цикла. Интерпретация служебного назначения изделия как реализации многомерной функции технических условий позволяет конструкторам, создателям новой техники пользоваться объективными методами «предвидения», прогнозирования будущих изделий в зависимости от их служебного назначения. Среди этих методов, естественно, на первом месте математические, когда с помощью ЭВМ «прогоняются», «просчитываются» десятки тысяч вариантов, завязанных в жесткую систему дифференциальных уравнений; здесь и методы, взятые «из арсенала» прогностики: морфологический анализ, факторный анализ, построение деревьев альтернатив и т. д.

Наконец, особую популярность в последнее время приобрел метод макетирования. Функциональный макет — пространственная модель будущего объекта в натуральную величину, воспроизводящая реальную, хотя в какой-то степени упрощенную работу прототипа, — позволяет наиболее успешно проверить соответствие комплекса технических условий, требуемых технических

свойств и характеристик изделия его служебному назначению. Разумеется, степень целесообразности разработки макета определяется степенью сложности создаваемого изделия. Макет иголки — бессмыслен, а вот без макета космической станции не обойтись. Главное достоинство макетов в том, что они позволяют в реальных условиях «протестировать» многие из требований технических условий, которые мы описали выше.

Еще раз повторим, что, конечно, речь о макетах может идти лишь тогда, когда проектируются сложные «системные» изделия — машины, комплексы, станции и т. п. Поскольку служебное назначение машин в связи с техническими условиями составляет основной предмет содержания нашей книги и в последующих разделах этот вопрос будет рассмотрен всесторонне, здесь для «полноты» следует, очевидно, сказать несколько слов о методах макетирования применительно к теме.

Функциональные макеты принято разделять по уровням сложности. За рубежом обычно оперируют шестью уровнями. Макеты самого высокого из них — шестого — непременно имеют в своей структуре ЭВМ.

Пятый уровень сложности обеспечивает воспроизведение на макете всех рабочих условий, включая операции по техническому обслуживанию и ремонту. Эти макеты практически отличаются от «высшего» уровня лишь отсутствием вычислительной машины.

Макеты четвертого уровня сложности позволяют воспроизвести все ситуации, кроме аварийных, а третьего — исключают действия по техническому обслуживанию и ремонту. На макетах второго уровня можно отрабатывать только «нормальные» режимы. А макеты первого уровня вообще не управляются человеком и лишь демонстрируют запрограммированное действие.

Таким образом, макеты с различной степенью приближения предоставляют исследователю различные градации осуществления изделием своих служебных функций, служебного назначения. Вот почему макетирование — важная составная часть процесса создания новой техники, позволяющая предупредить множество ошибок задолго до того, как проект будет воплощен в металле. И чем ответственнее технические решения, принимаемые на том или ином этапе проектирования, чем, соответственно, разнообразнее и жестче технические требова-

ния, закрепляемые ТУ, тем больше пользы приносят модели, макеты, предварительная детализация формулируемых служебных назначений, словом, весь тот инструментарий, который необходим в начале жизненного цикла изделия.

В рамках небольшой брошюры не представляется возможным рассмотреть даже малую толику конкретных реализаций общей системы технических условий применительно к служебному назначению изделий: слишком велика номенклатура изделий, слишком обширна гамма параметров, выражаемых в технических условиях.

Мы, однако, попытаемся решить эту задачу, взяв в качестве примера изделие, называемое «машиной», и проследив на нем отдельные, наиболее существенные аспекты тех тесных связей, которые существуют между изделием, его служебным назначением и техническими условиями. Для решения данной задачи изделие «машина» — практически идеальный объект анализа.

Действительно, при соответствующей потребности мы можем рассматривать машину и как единичный объект, и как систему; как объект статический и динамический; как конечный объект изготовления и как средство создания других объектов; различные конкретные машины воплощают различные служебные назначения; в связи с машинами можно говорить практически о всех перечисленных выше требованиях, включаемых в ТУ. Короче, машина, современная машина, концентрированное воплощение технической мысли и практики, наилучшим образом позволяет рассмотреть весь круг проблем, связанных со служебным назначением изделий и техническими условиями.

Служебное назначение машины

Конечная цель создания всякой машины — удовлетворение той или иной потребности человека. Ориентированность на цель, на служебное назначение — важнейшая предпосылка любого конструирования. Можно даже сказать, что степень полезности машины определяется ее соответствием служебному назначению. А отсюда следует важный вывод: этап формулирования требований служебного назначения особенно принципиален для формирования качества машины. Действительно, если ошибки, допущенные при конструировании или изготовлении машины, еще как-то устранимы, то ошибки в формулировке ее служебного назначения, т. е. фактически, в ее основном замысле, не поддаются исправлению и нередко ведут к «провалу» конструкции или ее неполноценности.

Однако, несмотря на особую ответственность данного этапа, он «освоен» гораздо хуже, чем, скажем, конструирование или изготовление. Четкая формулировка служебного назначения машины во взаимосвязи с требованиями к качеству ее в целом, к ее узлам и деталям — все это пока что вызывает трудности, сопровождается упущениями.

Для того чтобы дать всестороннюю характеристику понятию «служебное назначение машины», необходимо, очевидно, определить каждую из составляющих термина. Начнем с «машины».

Большинство современных определений сводится к следующему: «Машина — это механизм или сочетание механизмов, осуществляющих определенные целесообразные движения для преобразования энергии или про-

изводства работы. В зависимости от основного назначения различают два класса машин: машины-двигатели, с помощью которых один вид энергии преобразуется в другой, удобный для использования, и рабочие машины (машины-орудия), с помощью которых производится изменение формы, свойств и положения объекта труда».

Таким образом, сущность машины, ее основная функция в том, что она качественно преобразует исходный продукт в другой, готовый или промежуточный, необходимый для человека. Процесс преобразования может быть механическим, физическим, химическим, а может быть и их сочетанием.

В самом общем виде машину можно представить как неживой преобразователь предметов природы, сырья, полуфабрикатов в полезную для человека продукцию.

Чаще всего машина работает по следующей схеме: тем или иным путем в нее «вводится» исходный продукт, или в том или ином виде подается энергия, и она, осуществляя заданный процесс, «выдает» продукцию.

Есть, однако, и другой тип машин: только преобразователи энергии. Это — двигатели и генераторы. Исходный продукт для них — преобразуемая энергия, продукция — энергия преобразованная.

Принципиально различных типов машин, как видим, совсем немного. Однако в эти два-три «типа» укладываются сотни тысяч их конкретных реализаций. Машин великое множество. Они разнообразны из-за качественного различия осуществляемых процессов. Но их разнообразие обусловлено также и различием отдельных сторон качественно сходных процессов. Например, обработка деталей типа тел вращения ведется на различных токарных станках в зависимости от размера деталей, потребного количества и т. д. Поэтому создание новой машины должно предваряться глубоким изучением задач, для решения которых она разрабатывается, и точной формулировкой ее служебного назначения.

«Под служебным назначением машины понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой предназначается машина»¹.

Формулировка общей задачи обычно не вызывает затруднений. Например, «токарный станок предназначен

¹ Б. С. Балакшин, Основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1969.

для обработки деталей типа тел вращения». Но общая формулировка еще не раскрывает конкретного назначения машины и ее специфических особенностей. Формулировка служебного назначения должна выражать не только общую задачу, для решения которой создается машина, но и все дополнительные условия и требования, которые эту задачу максимально уточняют и конкретизируют.

В примере с токарным станком к деталям типа тел вращения можно отнести и трибки часовых механизмов, и валы коробок скоростей станков средних размеров, и колонны тяжелых прессов диаметром около 1 м и длиной порядка 30 м. Нельзя, да и нет в том нужды создавать такой станок, на котором можно было бы обработать любой из перечисленных валов. Необходимо уточнить размеры валов, для обработки которых станок предназначен.

Другое уточнение служебного назначения токарного станка может быть связано с его производительностью. Если, допустим, станок предназначен для изготовления изделий широкой номенклатуры, выпускаемых в небольших количествах, то его конструкция должна быть универсальной; если для массового выпуска одинаковых изделий — то специальной.

Еще одно уточнение служебного назначения может быть связано с требованиями к точности деталей, которые должны будут обрабатываться на станке, — точности размеров, относительного поворота, формы и чистоты поверхностей.

К числу параметров, уточняющих служебное назначение токарного станка, необходимо отнести режимы обработки деталей, тип заготовок, их материал, условия, в которых предстоит работать станку: возможные колебания температуры окружающей среды, влажность и запыленность воздуха и т. д.

Таким образом, устанавливая служебное назначение конкретной машины, необходимо как можно глубже уточнить ее функции и, главное, выразить эти уточнения не только в качественной, но и в количественной форме. Коротко можно сказать, что полнота формулировки служебного назначения — это производная степени детализации ее уточнений.

Нами уже отмечалось, что формулирование служебного назначения машины — один из самых ответственных

ных этапов процесса ее создания. Ошибки, допущенные при выявлении и уточнении служебного назначения машины, приводят к разработке некачественных машин, к излишним затратам труда на изготовление, освоение и эксплуатацию.

С чего же следует начинать?

Поскольку каждая машина создается для выполнения определенного процесса, то, очевидно, определение служебного назначения машины и надо начинать с изучения и описания, т. е. анализа этого процесса.

Однако с самого начала такого анализа возникает трудность принципиального характера. Дело в том, что в итоге изучения и описания процесса должен быть сформирован комплекс условий в виде номинальных и допустимых значений параметров, определяющих различные его состояния. Но известно, что любой процесс, для которого создается машина, — явление нестабильное, нарушаемое всевозможными случайностями. Следовательно, требуется аппарат, который позволил бы с необходимой точностью описывать причины и устанавливать границы проявления случайностей. А для этого прежде всего необходимо раскрыть физическую сущность процессов.

В обобщенную формулу качественного изучения процесса входит обычно четыре основных аспекта:

вид исходного продукта и существо нестабильности его качества;

вид энергии и ее количественные параметры;

факторы, изменяющие внешнюю среду, в которой предстоит работать машине;

сущность изменений состояния машины.

Основной источник искомых данных — как правило, технологический процесс: либо аналогичный какому-то уже существующему (если необходимо создать машину, имеющую аналог), либо намечаемый, проектирование которого обычно предшествует проектированию машин.

Анализ технологического процесса позволяет выявить и главные закономерности его протекания, пределы изменения факторов, влияющих на его состояние. Здесь-то и кроется основная трудность анализа. Ведь технологический процесс не может быть спроектирован «идеально», вне времени и пространства. Он проектируется для определенных условий с учетом пределов из-

менения качества исходного продукта, вида и пределов изменения количества подводимой энергии, изменений внешних условий (температуры, влажности, запыленности воздуха и т. д.). Короче, для того чтобы машина могла нормально осуществлять свои функции, реализовать свое служебное назначение, необходимо установить границы варьирования случайностей, имеющих отношение к «состоянию процесса».

Будем понимать под технологическим процессом, реализуемым машиной или с ее помощью, совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата. Такой процесс практически всегда развивается в непрерывно изменяющихся условиях. Во времени не остаются постоянными качество исходного продукта и количество сообщаемой энергии, колеблются внешние параметры и состояние машины.

Если, например, рассмотреть условия, в которых автомобилю приходится перевозить грузы, то окажется: сами грузы непостоянны по весу и габаритам, они неодинаково размещены в кузове, непостоянны характеристики дорог, по которым приходится проходить автомобилю (покрытие, крутизна уклонов и поворотов), различны атмосферные условия (холод, жара, гололед и т. д.); от заправки к заправке разнится состав бензина и т. д. Все вместе взятое приводит к тому, что показатели качества работы автомобиля непрерывно изменяются во времени.

Пусть в промежутке времени $t_1—t_2$ контролировалось изменение какой-либо характеристики работы автомобиля, например, скорости перемещения с грузом. Очевидно, что для промежутка времени $t_3—t_4$ характеристики анализируемого параметра отличались бы. И сколько бы графиков, отражающих аналитически исследуемый параметр, ни строить, вряд ли нашелся бы промежуток времени, для которого построенный график совпал бы с одним из предыдущих. Конечно, при желании можно было бы установить в каждом конкретном случае каждую конкретную причину того или иного отклонения. Однако в этом нет никакой необходимости, так как в большинстве практических задач можно свести все случайности, нестабильности, отклонения к общему понятию случайной функции.

Теория случайных функций и есть тот строгий мате-

матический аппарат, который позволяет с необходимой степенью точности устанавливать границы проявления случайностей и «отсекать» все то несущественное, чем можно пренебречь при анализе процесса, реализуемого машиной.

Теперь, после того как «стихия» случайностей «укрыта», можно приступить к формулированию служебного назначения машины.

Формулировка служебного назначения машины должна прежде всего содержать исчерпывающие данные о продукции, которую ей надлежит производить: вид, размеры, качество, количество. Другую группу данных могут составить показатели производительности. Они определяются при разработке технологии изготовления продукции и соответствующих технико-экономических расчетах. Сюда же можно отнести требования долговечности и надежности машины.

В формулировку служебного назначения машины должно включить и условия, в которых ей предстоит работать и производить продукцию требуемого качества в необходимых количествах. Условия работы берутся из описания процесса. В них входят показатели (с допустимыми отклонениями), характеризующие качество исходного продукта, подаваемой энергии, режимы работы машины и состояние окружающей среды.

Далее. Формулировка служебного назначения машины может содержать ряд дополнительных сведений, таких, как требования к внешнему виду, безопасности работы, удобству и простоте обслуживания и управления, уровню шума, коэффициенту полезного действия, степени механизации и автоматизации и т. п.

Еще раз подчеркнем: формулируя служебное назначение создаваемой машины, необходимо не упускать из виду, что, чем глубже и правильнее будут определены задачи, которые должны быть решены с ее помощью, чем четче будут установлены требования к ней, тем вероятнее и полнее успех. На этом этапе не следует щадить ни времени, ни сил, поскольку затраты эти окупаются сторицей.

Для того, чтобы лучше уяснить конкретную практику установления служебного назначения, разберем пример. Пусть требуется сформулировать служебное назначение станка для обработки поверхности К стоек у деталей заданной формы типа 0000. Деталь должна

изготавливаться в количестве 2 500 000 штук в год, причем по неизменяемому чертежу предполагается изготовить 15 000 000 штук.

Помимо сведений о размерах и материале детали, нам задано, что поверхность К в результате обработки должна находиться на расстоянии $A_{-0,12}$ мм относительно отверстия $\varnothing d$, быть перпендикулярной основанию в пределах допуска $\delta\alpha = 0,05/300$ мм, отклонение от плоскостности не должно превышать 0,03 мм, чистота поверхности $\nabla 6$.

Разработанный технологический процесс изготовления детали в нужном количестве должен определить вид обработки, тип станка, требуемую степень автоматизации, производительность и режим работы, схему базирования детали при обработке и допустимую погрешность базирования, вид заготовки, предельные отклонения припуска, твердости и температуры заготовки, требуемую стойкость режущего инструмента, допустимые температурные деформации системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь).

Предположим, что в рассматриваемом примере источник уточнений служебного назначения станка дали результаты, приведенные в таблице.

На основании этих данных служебное назначение станка можно сформулировать примерно так:

«Специальный горизонтально-фрезерный полуавтомат предназначен для фрезерования стоек у детали 0000, у которой заданы габарит и размеры обрабатываемых поверхностей. Материал детали — СЧ 15-32. Заготовка — отливка, прошедшая предварительную обработку.

Станок должен обеспечивать расстояние А с допуском в 0,12 мм, перпендикулярность поверхности К относительно основания в пределах 0,05/300 мм, плоскостность поверхности К в пределах 0,03 мм, чистоту поверхности К $\nabla 6$.

Обработка детали должна вестись со скоростью резания 50 м/мин, подачей 0,015 мм/зуб и обеспечить выпуск 90 деталей в час.

Указанная точность детали и производительность обработки должны обеспечиваться станком при колебании припуска на обработку 0,5—1,2 мм, колебании твердости заготовки 180—220 НВ, при температуре заготовки 288—303 К, температуре воздуха в цехе 293 ± 3 К,

| Источники | Сведения, уточняющие служебное назначение станка | Производные уточнений служебного назначения станка | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|--|---|
| | | I порядка | | II порядка | |
| | | 2 | | 3 | 4 |
| Чертеж обрабатываемой детали | Габарит детали Размеры обрабатываемой поверхности Точность обработки: $A-0.12$ мм, $= 0.05/300$ мм Отклонение от плоскостности 0,03 мм Материал детали СЧ 15-32 | Размеры станка, приспособления, фрезы | | Размеры деталей, станка, приспособления, фрезы | |
| Технологический процесс изготовления | Тип станка: специальный горизонтально-фрезерный полуавтомат | Геометрическая точность станка, приспособления, фрезы | | Точность деталей станка, приспособления, фрезы | |
| | Режим обработки: $V=50$ мм/мин, $S=0,015$ мм/зуб | Кинематика станка | | Конструкция станка | |
| | Такт при двухсменной работе — 40 с/деталь Заготовка — отливка Колебание припуска 0,5—1,2 мм Колебание твердости 180—220 HB | Жесткость СПИД, мощность двигателя | | Жесткость составляющих СПИД | |
| | Температура заготовки 288—303 К | Система стабилизации температуры заготовки | | | |

| Источники | Сведения о предприятии | Производные уточнений служебного назначения станка | | |
|--|---|---|--|-------------------------|
| | | I порядка | | II порядка |
| | | 2 | | 3 |
| Сведения о предприятии | Схема базирования и точность базисуемых поверхностей | Конструкция приспособления | | Точность приспособления |
| | Допустимая погрешность установки — 0,04 мм Допустимый размерный износ фрезы 0,1 мм за 10 смен работы Допустимые температурные деформации СПИД — 0,03 мм | Материал и конструкция фрезы Компенсирующие устройства | | |
| | Температура воздуха в цехе 293 ± 3 К Загрязненность воздуха чуждородной пылью 4 мг/м ³ Напряжение в электрической сети $350 \pm \frac{50}{70}$ В | Конструкция станка | | |
| Масштаб выпуска и размер серии | Долговечность 6 лет | Материал и точность деталей, подверженных износу | | |
| | Уровень шума 50 дБ | Точность деталей станка | | |
| Требования охраны труда и техники безопасности | | | | |

загрязненности воздуха 4 мг/м^3 и напряжении электрической сети $350 \pm \frac{50}{70} \text{ В}$. Допустимая погрешность установки детали $0,04 \text{ мм}$.

Допускается смещение среднего значения расстояния A из-за температурных деформаций системы СПИД не свыше $0,03 \text{ мм}$, размерный износ фрезы — не свыше $0,1 \text{ мм}$ на протяжении 10 смен работы.

Шум, издаваемый станком, не должен превышать 56 дБ . Станок должен работать в течение 6 лет».

Вот перечень необходимых данных о служебном назначении специального горизонтально-фрезерного станка, которые следует включить в формулировку служебного назначения для ее уточнения. О важности этих данных можно судить хотя бы по тому, как они будут учтены и использованы в дальнейшем конструкторами станка, приспособлений, режущего инструмента, технологами станкозавода, технологами-инструментальщиками и, наконец, технологами завода, для которого предназначается станок. Использование уточнений показано в графах 3 и 4 таблицы, условно названных производными уточнений служебного назначения станка. Таблица убеждает, что все уточнения служебного назначения станка — исходные данные в работе конструкторов и технологов, которые будут участвовать в его создании и эксплуатации. Только имея эти данные, они смогут правильно решить поставленную задачу.

Вот почему детально сформулированное служебное назначение машины — важнейший документ в задании на ее проектирование.

Относительная простота принципов формулирования служебного назначения машины может создать обманчивое впечатление легкости решения всей проблемы служебного назначения в целом. Однако это далеко не так. И основная трудность здесь в том, что любая машина — прежде всего сложная большая система самых разнообразных компонентов. Более того, машина — это не просто механическое соединение различных деталей и совокупность разрозненных, не зависящих друг от друга процессов, происходящих в ней, а взаимно увязанная целостная динамичная система. Детали машин, их размеры, относительное движение и взаимодействие, точность, материалы — все это элементы, объединенные служебным назначением машины и обеспечивающие его

исполнение. Поэтому важнейшая задача как при конструировании, так и при изготовлении машины — установление, разработка и обеспечение необходимых связей всех составляющих ее компонентов, исходя и в соответствии с ее служебным назначением.

Исполнительные поверхности, связи, параметры точности

Любая машина, так же, как и механизмы, ее составляющие, выполняет свое служебное назначение при помощи ряда поверхностей, которые принято называть исполнительными. Пример — сочетание поверхностей переднего конца шпинделя токарного станка, определяющих положение центра и патрона, поверхности конического отверстия пиноли задней бабки и поверхности резцедержателя, на которые устанавливаются резцы. У электродвигателя исполнительными являются поверхности конца вала, на котором монтируется муфта, передающая вращательное движение, а также рабочие поверхности статора и ротора.

Грубо говоря, исполнительные поверхности это то, чем в конечном итоге машина осуществляет функции своего служебного назначения. Но кроме «чем?» существует и «как?» Общее служебное назначение любой машины — преобразовывать сырье или полуфабрикаты в необходимую продукцию — реализуется исполнительными поверхностями, увязанными между собой в систему, посредством ряда связей.

Размерные, кинематические, динамические, электрические, магнитные, световые, механические, гидравлические, пневматические, химические, временные и другие связи — это все и есть то, что обеспечивает реализацию машиной процесса, предписанного ее назначением.

Таким образом, первый шаг в создании машины — это выбор требуемых видов связей и форм самих исполнительных поверхностей.

Уже из краткого перечисления видно, что связи ис-

полнительных поверхностей в машине сложны и многообразны. Причем некоторые из них, например размерные, имеются всегда, другие возникают только в процессе работы машины. Существуют и другие тонкости, делающие полный системный учет всех связей в машине довольно сложной задачей. Каким же образом предварительно задать и описать всю ту будущую систему связей, которая и «организует» машину для реализации ее служебного назначения?

Оказывается (и это одно из фундаментальнейших положений машиноведения и конструирования машин), что все связи можно свести к некоторой системе в виде размерных (расстояния, относительные повороты, форма, шероховатость поверхностей деталей, а также расстояния и повороты, определяющие относительное положение самих деталей) и связей в виде свойств материалов, из которых должны быть изготовлены детали машины (свойства материалов, из которых изготавливаются детали машин, также относят к особому виду связей).

Размерные связи, если обратиться к перечню характеристик изделий, предусматриваемых ТУ, скоррелированы с точностью, эксплуатационными показателями, с группой свойств надежности и т. п. В то же время свойства веществ и материалов «покрывают» такие «зоны», как физико-химические свойства, долговечность и т. д. Таким образом, совокупность размерных связей и свойств материалов практически предопределяет большинство важнейших характеристик технических условий или во всяком случае соотнесена с ними.

Поэтому создание машины как изделия с заданным служебным назначением начинается с определения необходимых связей, посредством которых машина должна выполнять свое служебное назначение;

выбора исполнительных поверхностей, между которыми должны быть реализованы эти связи;

преобразования связей исполнительных поверхностей в размерные и связи свойств материалов;

установления требуемой точности связей исполнительных поверхностей машины.

Рассмотрим каждый из пунктов, постулировав тезис о том, что все требуемые виды связей исполнительных поверхностей машины вытекают из ее служебного назначения.

В самом деле, если обратиться к нашим примерам, то токарный станок предназначен для обработки деталей типа тел вращения. Для того чтобы обработать деталь, необходимо:

задать относительное положение детали и режущего инструмента;

осуществить относительное движение режущего инструмента и обрабатываемой детали;

создать усилия, необходимые для процесса резания материала.

Значит, в токарном станке должны быть созданы размерные, кинематические и динамические связи.

Другой пример. Электродвигатель преобразовывает электрическую энергию в механическую и создает вращательный момент. Служебное назначение электродвигателя, помимо размерных связей и связей свойств материалов, требует наличия электрических, динамических и кинематических связей.

Для реализации требуемых видов связей исполнительных поверхностей в машине, которые можно считать «основными», могут потребоваться «дополнительные» виды связей. Так, например, в токарном станке подача резца в направлении, параллельном оси вращения детали, может быть осуществлена гидравлически. То есть для осуществления кинематической и динамической связей надо еще применить и гидравлические связи. Однако следует заметить, что если основные «базовые» связи, как правило, поддаются определению в стадии перехода от формулировки служебного назначения к связям исполнительных поверхностей, то необходимость в дополнительных связях обнаруживается обычно в процессе конструирования машины.

После того как основные виды связей определены, необходимо установить виды и формы исполнительных поверхностей машины, между которыми, собственно, и происходит «работа» связей. Дать зрителю телевизионное изображение можно, лишь создав экран — исполнительную поверхность, на которой во время работы телевизора и будут действовать световые связи.

Повторим:

все необходимые для выполнения процесса связи в машине осуществляются через исполнительные поверхности. Поэтому выбор вида и формы исполнительных

поверхностей — важнейший этап процесса создания машины.

Вид и форму исполнительных поверхностей устанавливают исходя из служебного назначения машины и в результате системного рассмотрения вида и характера необходимых связей, выявленных ранее. Успешный выбор исполнительных поверхностей машины во многом зависит от того, как глубоко удастся представить их функции и реализовать исполнение этих функций меньшим количеством поверхностей.

Большую роль в решении этой задачи играет так называемая конструктивная преемственность — использование предшествующего опыта машиностроения. Но, изучая накопленный опыт и отдавая ему должное, не следует, однако, отказываться и от попыток найти принципиально новые, более удачные решения или возродить отвергнутые по каким-либо причинам старые, которые могут оказаться в данном случае полезными.

Выявленные на этой стадии необходимые исполнительные поверхности машины обычно несколько абстрактны, потому что привязать их к конкретным деталям машины можно только позднее. Пути конкретизации различны, но, зачастую, они следуют логике и методам конструирования с учетом экономики технологических процессов изготовления деталей.

Если мы снова обратимся к токарному станку общего назначения, то путь инженерной мысли при решении конструктивных форм исполнительных поверхностей будет примерно следующим.

Служебное назначение станка — обработка деталей типа тел вращения — требует вращательного движения либо обрабатываемой детали относительно режущего инструмента, либо инструмента относительно детали, а также прямолинейного движения их относительно друг друга. Большая универсальность станка, как показывает опыт, при вращающейся детали и прямолинейном движении резца. Но встречаются и другие варианты распределения движений между деталью и режущим инструментом, правда, реже. Выбор характера кинематической связи, для которой в данном случае целесообразнее остановиться на первом варианте, приводит к выводу: исполнительные поверхности станка, определяющие положение детали, должны быть поверхностями вращения.

Далее. Чаше всего не удастся установить обрабатываемую деталь непосредственно на исполнительные поверхности станка. Приходится применять дополнительные устройства — приспособления. Поэтому при конкретизации форм исполнительных поверхностей приходится учитывать формы приспособлений для установки деталей различного типа.

Обращаясь к опыту создания и эксплуатации токарных станков широкого назначения, учитывая характер деталей, обрабатываемых на них, можно видеть, что наиболее удобными приспособлениями будут центры с планшайбой и патроны. С помощью центров деталь большой протяженности лишается пяти степеней свободы. А через планшайбу и поводковые устройства, связанные с ней, — и шестой. Недлинная же деталь уже только патроном может быть лишена шести степеней свободы. Следовательно, дальнейшую разработку конструктивных форм исполнительных поверхностей необходимо связать с базированием приспособлений на станке.

Наиболее простое решение в определении положения центров дают конические поверхности. Для базирования планшайбы с поводком, а также патрона необходимо создать плоскую установочную и коническую центрирующую базировочные поверхности.

Это то, что «касается» обрабатываемых деталей.

Инструмент. Положение режущего инструмента в его прямолинейном движении относительно детали может быть определено с помощью поверхностей любой геометрической формы — все зависит от формы резцов. Так как наиболее распространены резцы с призматическими хвостовиками, то, очевидно, более целесообразно и экономически выгодно исполнительные поверхности станка в этой «подсистеме» — для задания необходимого положения инструменту — сделать плоскими.

Итак, выбор вида и формы исполнительных поверхностей токарного станка нами в самом общем виде сделан. Мы исходили из необходимости создать в нем кинематические связи и определить относительное положение обрабатываемой детали и режущего инструмента. Но, кроме того, исполнительным поверхностям станка надлежит реализовать и динамические связи, то есть сообщать усилия для закрепления обрабатываемой детали, усилия и моменты, необходимые для процесса ре-

зания, а также воспринимать собственную массу обрабатываемых деталей и реакции действующих в процессе обработки сил и моментов. Все эти связи необходимо обеспечить, хотя, конечно, определенную их часть могут реализовать уже избранные нами исполнительные поверхности.

Например, собственную массу детали будут воспринимать конические поверхности, базировочные центры; усилие закрепления детали в осевом направлении может сообщаться задним центром также через коническую поверхность, базировочную его, и т. д.

Такова примерная, очень краткая схема первоначальной «реализации» служебного назначения токарного станка в виде связей и исполнительных поверхностей. Многие факторы «реальной работы» описаны либо очень бегло, либо, как, например, традиции и новаторство, за недостатком места совсем здесь не затронуты. А ведь это все очень важные вопросы. Виды и формы исполнительных поверхностей тех же токарных станков обрабатывались в течение многих лет, их современный вид — результат огромного многообразия переработанных схем и конструктивных решений, многие из которых в свое время были отвергнуты по вполне определенным причинам.

Среди отвергнутых решений возможны и такие — в других условиях, при других обстоятельствах! — которые могут быть с успехом применены во вновь создаваемом оборудовании. Например, ужесточение требований к точности и производительности обработки валов на токарных станках вынуждает вести ее с одного устройства. Однако сделать это не позволяют существующие поводковые устройства. Ранее уже предпринимались попытки передать функции поводковых устройств или самому переднему центру (делая его рифленным), или специальному устройству, связанному с ним. В свое время такие устройства не получили распространения из-за недостаточной надежности. Однако новые требования к токарным станкам вынудили снова обратиться к ним. Новые знания позволили найти новое конструктивное решение отвергнутой ранее идеи.

Служебное назначение — это как бы одна система; связи — другая; исполнительные поверхности — третья; технические условия — четвертая. Каким образом эти

четыре системы «завязываются» в единый комплекс, в одну «большую» систему?

Создаваемая машина только тогда будет в состоянии качественно осуществлять процесс изготовления продукции, когда параметры связей исполнительных поверхностей машины будут полностью соответствовать требованиям к качеству продукции, производительности, долговечности машины и производственным условиям. Другими словами, требуется перейти от параметров служебного назначения машины к параметрам связей ее исполнительных поверхностей. Здесь приходится обратиться к расчетам. Но и роль конструктивной преемственности весьма значительна.

Известно, что аналитические зависимости между различными физическими, химическими и другого вида явлениями можно представить в виде уравнений типа $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Примем для наших целей, что в этом уравнении y — параметр служебного назначения машины, а аргументы x_1, x_2, \dots, x_n — параметры одного из видов связей исполнительных поверхностей машины, от которых зависит значение y .

Решение исходного уравнения сводится к установлению значений аргументов x_1, x_2, \dots, x_n , удовлетворяющих значению функции y . Поскольку исходное уравнение одно, а неизвестных n , решить его можно только подбором значений аргументов. Подбор может дать бесконечно большое число решений. Однако с этим придется мириться, так как другой возможности решить исходное уравнение не существует. Правда, число вариантов иногда можно несколько или даже значительно сократить, если учитывать действующие нормы на значения аргументов (когда таковые существуют), опыт решения подобных задач в прошлом, а также экономическую сторону дела.

Итак, нами описаны в первом приближении виды связей исполнительных поверхностей токарного станка и выбраны конструктивные формы этих поверхностей. Покажем теперь на отдельных примерах, как перейти от параметров служебного назначения к параметрам связей исполнительных поверхностей.

Одно из требований служебного назначения токарного станка — правильность геометрической формы, относительного положения и размеров поверхностей обрабатываемых деталей. Чтобы выполнить это требование,

исполнительным поверхностям токарного станка следует придать соответствующее относительное положение. Оно должно сохраняться на протяжении всего срока службы станка. Так, если нужно получить поверхность цилиндрической формы, ось вращения заготовки должна быть параллельна направлению перемещения резца. Отклонение от параллельности в горизонтальной плоскости приведет к образованию конической поверхности, а в вертикальной — однополостного гиперболоида. Чтобы обработанная поверхность детали была соосна с поверхностью, использованной для определения положения детали на станке, необходимо обеспечить соосность последней с осью вращения заготовки. А чтобы цилиндрическая поверхность была заданного диаметра, требуется расположить резец (а следовательно, и исполнительные поверхности станка, определяющие его положение) на некотором расстоянии от оси вращения заготовки.

Таким образом, ориентируясь на требования к готовой детали в формулировке служебного назначения токарного станка, можно подойти к параметрам размерных связей его исполнительных поверхностей, определяющим их относительное положение и направление движения.

Процесс выявления параметров размерных связей исполнительных поверхностей базируется на анализе сущности процесса формообразования — раз, влияния отклонений относительного положения и направления движения исполнительных поверхностей станка на форму, положение и размер обрабатываемых поверхностей детали — два. Прежде чем мы осознаем необходимость обеспечить параллельность оси вращения заготовки относительно направления перемещения резца, требуется уяснить самое представление об оси вращения заготовки и то, как «материализуется» эта ось. Можно считать, что (без учета упругих явлений и с некоторым приближением) ось вращения заготовки — прямая линия, проходящая через центр вращения вершины переднего и вершину заднего центров станка. Ее непараллельность направлению перемещения резца может быть следствием (рис. 1) не только собственного поворота ξ и ζ в двух координатных плоскостях, но и смещения конца заднего центра относительно оси вращения переднего. При этом задний центр может быть просто смещен относительно

оси вращений переднего центра, например, в вертикальной плоскости на величину B . Однако смещение конца заднего центра может быть вызвано его поворотом η вокруг какой-то точки O , может быть вызвано и непараллельностью v направления его перемещения к оси вращения переднего центра; это может проявиться при переходе к обработке деталей другой длины.

Аналогичная картина может наблюдаться и в горизонтальной плоскости и описываться своей системой параметров.

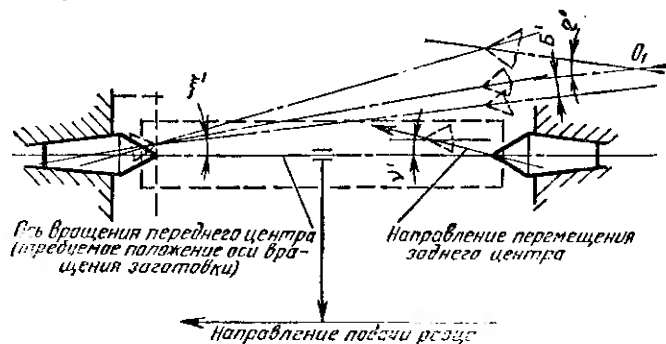


Рис. 1

Если систематизировать параметры относительного положения исполнительных поверхностей в соответствии с требованиями служебного назначения токарного станка, то вырисовывается следующая картина.

Чтобы получить цилиндрическую форму обрабатываемой поверхности детали (при обработке в центрах), необходимо учитывать отсутствие параллельности оси вращения заготовки направлению перемещения резца. Причинами этого могут быть:

поворот оси вращения конуса под передний центр относительно направления перемещения резца в вертикальной плоскости — ξ , в горизонтальной — ζ ;

смещение оси конуса под задний центр относительно оси вращения конуса под передний центр в вертикальной плоскости — B , в горизонтальной — G ;

поворот оси конуса под задний центр относительно оси вращения конуса под передний центр в вертикальной плоскости — η , в горизонтальной — μ ;

непараллельность осевого перемещения конуса под задний центр относительно оси вращения конуса под

передний центр в вертикальной плоскости — v , в горизонтальной — χ .

Добиться соосности обрабатываемой поверхности с базирующими при обработке в центрах можно при одном условии: отсутствии радиального бienia конуса под передний центр из-за смещения A его оси относительно оси вращения, поворота его оси относительно оси вращения в вертикальной и горизонтальной плоскостях — α и β .

То же самое, но при обработке в патроне, определяет поясok, центрирующий патрон, который не должен иметь смещение B относительно оси его вращения.

Наконец, служебное назначение станка требует обеспечить при обработке в патроне перпендикулярность оси цилиндрической поверхности установочной базе детали; плоскостность подрезаемого торца. Соответственно условиями будут — перпендикулярность γ торца шпинделя (установочная база для патрона) к оси его вращения; перпендикулярность τ направления поперечного перемещения резца оси вращения детали.

Систематизация параметров подводит к исходным уравнениям, отображающим функциональную связь параметров служебного назначения станка и относительного положения его исполнительных поверхностей. Например, выясняется, что требование в отношении цилиндричности формы (Φ) обрабатываемой поверхности есть:

$$\Phi = f(\xi, \zeta, B, G, \eta, \mu, v, \chi),$$

а ее соосность C с базой — $C = f(A, \alpha, \beta)$.

Теперь о кинематических связях.

То, что кинематические связи исполнительных поверхностей токарного станка необходимы, показано выше. Для обработки поверхностей вращения и плоских поверхностей деталей нужно, чтобы деталь вращалась, а режущий инструмент передвигался прямолинейно. Соответственно исходное уравнение кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка будет иметь вид: $S = ns$,

где S — скорость прямолинейного движения режущего инструмента, мм/мин;

n — число оборотов шпинделя в минуту;

s — подача в миллиметрах на один оборот шпинделя.

Скорость прямолинейного движения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности детали характеризует производительность станка. Требуемая производительность задается его служебным назначением. Следовательно, при определении числа оборотов шпинделя в минуту и подачи инструмента на оборот шпинделя следует исходить из обозначенной служебным назначением станка величины S . Желание иметь S наибольшей «разбивается» о стойкость режущего инструмента (зависит от скорости резания V) и точность обработки (зависит от величины подачи s).

При подборе значений n и s приходится учитывать то, что:

станок предназначен для обработки деталей, у которых диаметр обрабатываемых поверхностей может в соответствии со служебным назначением станка изменяться в пределах $d_{\text{макс}} - d_{\text{мин}}$;

требуемая точность обработки неодинакова;

различные операции требуют различных режимов.

Все это заставляет предусматривать на токарных станках возможность варьировать величины оборотов и подач. При проектировании диапазона регулирования частоты оборотов шпинделя обычно увеличивают на 20—25% против расчетного — учитывается процесс совершенствования режущего инструмента и технологии.

Можно добиться того, чтобы станок всегда работал на наивыгоднейших режимах; следует осуществить их бесступенчатое регулирование. Однако устройство для такого регулирования может оказаться неоправданно дорогим.

Диапазон подач токарного станка также устанавливается в соответствии со служебным назначением. В близкий к арифметическому ряд значений подач включаются значения продольных и поперечных подач для обработки гладких поверхностей деталей, для нарезания резьб метрических, дюймовых, модульных, питчевых, а также резьб с большим шагом.

Установленные исходя из требуемого служебным назначением S в соответствии с исходным уравнением $S = n \cdot s$ диапазон и ряды частоты оборотов и подач — это и будут параметры кинематической связи исполнительных поверхностей токарного станка.

Мы уделили довольно много внимания примеру. Но дело в том, что разработка кинематических связей ис-

полнительных поверхностей машин другого вида проводится примерно так же. Хотя у некоторых машин требуется не изменять режим, а сохранять его постоянным. Например, изменение режима работы часов допускается в очень узких пределах. Чем уже этот диапазон, тем выше качество часов. Но подобных устройств меньшинство.

Следующий пример перехода от процесса и продукции к связям исполнительных поверхностей касается разработки динамических связей исполнительных поверхностей токарного станка. Возникновение связей подобного рода обусловлено сущностью обработки деталей резанием.

Чтобы снять с обрабатываемой детали слой материала, необходимо приложить к обрабатываемой детали некие силы резания. Сила P определяется по формулам теории резания материалов.

Расчет сил резания учитывает возможную наибольшую глубину резания t , высшую твердость материала (характеризуется коэффициентом K_m), наибольшую подачу и наименьшую скорость обработки. Режимы устанавливаются в соответствии со служебным назначением станка.

Силы, необходимые для обработки детали и приведенные к исполнительным поверхностям, и есть составляющие динамических связей исполнительных поверхностей токарного станка.

Результаты разработки связей исполнительных поверхностей машины, необходимых для осуществления процесса, — исходные данные для следующего этапа проектирования машины. Речь идет о переходе от одного вида связи исполнительных поверхностей машин к другому.

Мы говорили как о фундаментальном тезисе о том, что все необходимые виды связей в машине создаются с помощью деталей определенных геометрических форм, размеров, относительного положения, изготовленных из известных материалов. Материалы и возможность придать им нужные формы, размеры и положения — практически все, чем располагает конструктор для синтеза связей в машине. Поэтому он вынужден порой многократно переходить от одного вида связи к другому. В конечном счете он сводит их к материалам деталей и размерным связям.

Переходить от одного вида связи к другому можно с помощью исходного уравнения (стр. 28). Оно отражает зависимость параметра (функции) преобразуемого вида связи от параметров (аргументов) вида связи, к которому осуществляется переход. Решение исходного уравнения сводится опять-таки к подбору значений аргументов. Удачное решение исходного уравнения во многом зависит от опыта, мастерства, способностей инженера. Покажем, в чем здесь суть, взяв в качестве примера электродвигатель.

В специальных авиационных приборах функционируют малогабаритные электродвигатели постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов. Главные параметры, уточняющие служебное назначение двигателя, — число оборотов $n_{\text{в}}$ вала электродвигателя в минуту и вращающий момент $M_{\text{вр}}$ на валу. Собственно, вращательное движение вала с определенной скоростью и вращающий момент — это «продукция» электродвигателя.

Необходимое число оборотов вала создается через кинематическую связь якоря со статором — вращением первого относительно второго со скоростью $n_{\text{я}}$. Кинематическая связь в свою очередь может быть осуществлена через электромагнитные связи якоря со статором, а последние — через материалы и размерные связи. Но это невозможно, если используемые материалы не обладают определенными свойствами, формой, размерами и не занимают необходимого относительного положения. Нужный вращающий момент реализуется динамической связью якоря со статором.

Таким образом, разрабатывая электродвигатель, необходимо постоянно переходить от одного вида связи к другому.

Переход от требуемого числа оборотов вала двигателя к кинематической связи якоря и статора не требует преобразований, так как $n_{\text{в}} = n_{\text{я}}$.

Исходным уравнением для преобразования кинематической связи в электромагнитные является зависимость:

$$n_{\text{я}} = \frac{E \cdot a \cdot 60 \cdot 10^3}{P \cdot \Phi \cdot N},$$

где E — электродвижущая сила в обмотке якоря, определяется из соотношения $E = U - IR_{\text{я}} - \Delta U_{\text{щ}}$, где

U — напряжение питания электродвигателя; I — ток в обмотке якоря; $R_{\text{я}}$ — сопротивление в обмотке якоря; $\Delta U_{\text{щ}}$ — падение напряжения на щетках; $2a$ — число пар параллельных ветвей обмотки якоря; $2p$ — число пар полюсов электродвигателя; Φ — магнитный поток в зазоре; N — число проводников обмотки якоря.

Допустим, что служебное назначение двигателя требует, чтобы число оборотов якоря было 6240 об/мин. Тогда одним из частных решений могут быть следующие номинальные значения аргументов:

$$\begin{aligned} U &= 27 \text{ В}; & 2a &= 2; \\ I &= 0,38 \text{ А}; & 2p &= 2; \\ R_{\text{я}} &= 19,5 \text{ Ом}; & \Phi &= 5340 \text{ мкс}; \\ \Delta U_{\text{щ}} &= 1,5 \text{ В}; & N &= 2700 \text{ витков}. \end{aligned}$$

Используя полученные значения аргументов как исходные, можно продолжить преобразование связей и перейти, например, от установленной величины сопротивления $R_{\text{я}}$ якоря к материалу и сечению проводников обмотки. Или, беря зависимость $\Phi = \frac{MDC}{\frac{l_i}{\mu S_{\text{ж}}} + \Delta}$ (в кото-

рой МДС — магнитодвижущая сила, l_i — средняя силовая линия; μ — магнитная проницаемость железа; $S_{\text{ж}}$ — сечение железа; Δ — воздушный зазор) как исходное уравнение, можно, зная Φ , установить номинальную величину воздушного зазора Δ между якорем и статором. Воздушный зазор Δ — один из параметров размерной связи исполнительных поверхностей электродвигателя.

Путь формирования требуемой величины вращающего момента на валу двигателя — переход от заданной служебным назначением двигателя величины вращающего момента к параметрам момента электромагнитного $M_{\text{эм}}$. Поскольку в данном случае $M_{\text{эм}} = M_{\text{вр}}$, то на

основании зависимости $M_{\text{эм}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} N \Phi I$ можно перейти

к значениям уже встречавшихся ранее аргументов с позиции обеспечения требуемых динамических связей в двигателе.

Так как $M_{\text{эм}} = \frac{D_{\text{я}}}{2} N \Phi$, то, пользуясь уже избранными величинами N и Φ , устанавливаем номинальный диаметр $D_{\text{я}}$ якоря. Это позволит обратиться к другому параметру размерных связей исполнительных поверхно-

стей двигателя. Следуя в процессе проектирования тем же путем, определяют необходимую активную и общую длину проводников обмоток якоря, размеры магнитов, соосность якоря и статора и др.

Очевидно, что реализовывать требуемые величины $n_{\text{в}}$ и $M_{\text{вр}}$ следует через электромагнитные связи с общими параметрами. Связи различного направления оказались параллельны, стало быть, величины общих параметров в одинаковой мере должны удовлетворять требуемым значениям функций в исходных уравнениях, через которые преобразовываются связи в каждом из направлений. Такие уравнения следует решать совместно.

Система последовательных уточнений формулировок служебного назначения машины включает в качестве важнейшей и подсистему «точность».

Точность — как бы последний параметр перед преобразованием замысла, чертежа, макета, модели в «пароходы, здания...» и т. д. Совокупность технических условий воплощается в конкретном изделии, «зажатая» в железные тиски точностных границ.

Процесс выявления и задания точности связей исполнительных поверхностей машины проходит через все этапы приведения и преобразования связей.

Требуемая точность последних определяется служебным назначением машины. Ее можно установить:

при теоретических исследованиях физической сущности явлений, сопутствующих работе машины, и соответствующих расчетах;

на основании экспериментов на опытных образцах, первых экземплярах или макетах машин;

в результате изучения опыта эксплуатации машин, аналогичных создаваемой;

с помощью логических умозаключений и на основе опыта инженера, лица, определяющего точность связей исполнительных поверхностей машины.

Первый путь, по-видимому, основной, необходимо, чтобы допуски на параметры связей исполнительных поверхностей машины обосновывались расчетом. Исходные данные такого расчета — допуски, ограничивающие изменения характеристик качества продукции будущей машины.

Общая схема расчета сходна с расчетом номинальных значений параметров связей исполнительных поверхностей машины: сначала нужно перейти в допусках

от продукции и процесса к связям исполнительных поверхностей. Затем расчетом допусков должны быть охвачены все стадии перехода от одних видов связей исполнительных поверхностей машины к другим. Расчет основан на исходных уравнениях функциональной зависимости параметра y от аргументов x_1, x_2, \dots, x_n , т. е. уже знакомым нам (по расчету номиналов) уравнениям вида $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и формуле

$$\delta_y = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \delta_{x_i}^2} \cdot k_{x_i}.$$

Они выражают связь допуска, ограничивающего отклонение функции, с допусками, ограничивающими отклонения аргументов. Средние значения \bar{x}_i аргументов могут быть установлены исходя из требуемого среднего значения \bar{y} функции по формуле $\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$.

Покажем применение этих формул на примере электродвигателя. Ранее мы обращались к нему для демонстрации преобразования различного рода связей исполнительных поверхностей машины. Теперь проследим за преобразованием допусков при переходе от одного вида связей к другому.

Важнейшие показатели, уточняющие служебное назначение электродвигателя, — число оборотов якоря в минуту, вращающий момент и допустимое колебание числа оборотов якоря и момента. Они должны соответствовать требованиям технологии, в которой работает электродвигатель.

Если предположить, что эта технология допускает изменение числа n оборотов якоря в пределах $\pm 3\%$ от номинального в минуту, то $\delta_n = 0,06 \cdot 6240 \text{ об/мин} = 376 \text{ об/мин}$ и координата середины поля допуска на число оборотов якоря $\Delta_{\text{ср}} = 0$. Тогда

$$\delta_n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \Phi} \right)^2 \delta_{\Phi}^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial R_{\text{я}}} \right)^2 \delta_{R_{\text{я}}}^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \Delta U_{\text{щ}}} \right)^2 \delta_{\Delta U_{\text{щ}}}^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial N} \right)^2 \delta_N^2}.$$

Все аргументы исходного уравнения независимы друг от друга. Кроме того, принято условие, что распределение отклонений аргументов подчинено закону Гаусса, а процент риска принят равным $0,27\%$. Это дало $k_{x_i} = 1$.

Прежде чем установить допуски на аргументы, необходимо, используя исходное уравнение, определить

значения передаточных отношений, показывающих степень влияния отклонений каждого аргумента на отклонение функции, т. е. числа оборотов якоря электродвигателя:

$$\frac{\partial n}{\partial \Phi} = - \frac{E \cdot a \cdot 60 \cdot 10^8}{P \Phi^2 N} = -1,2 \text{ об/мкс};$$

$$\frac{\partial n}{\partial R_{\text{я}}} = - \frac{I \cdot a \cdot 60 \cdot 10^8}{P \Phi N} = -160 \text{ об/Ом};$$

$$\frac{\partial n}{\partial \Delta U_{\text{ш}}} = - \frac{a \cdot 60 \cdot 10^8}{P \cdot \Phi \cdot N} = -420 \text{ об/В};$$

$$\frac{\partial n}{\partial N} = - \frac{E \cdot a \cdot 60 \cdot 10^8}{P \cdot \Phi \cdot N} = -2,76 \text{ об/виток}.$$

Имея значения передаточных отношений, установим подбором следующие значения допусков: $\delta_{\Phi} = 240 \text{ мкс}$, $\delta_{R_{\text{я}}} = 0,75 \text{ Ом}$, $\delta_{\Delta U_{\text{ш}}} = 0,5 \text{ В}$, $\delta_N = 9 \text{ витков}$.

Проверка показывает, что допуски установлены правильно. Действительно,

$$376 = \sqrt{1,2^2 \cdot 240^2 + 160^2 \cdot 0,75^2 + 420^2 \cdot 0,5^2 + 2,76^2 \cdot 9^2}.$$

Расчет средних допустимых значений аргументов может быть выполнен по формуле:

$$\bar{n} = \frac{(\bar{n} - I \bar{R}_{\text{я}} - \bar{\Delta U}_{\text{ш}}) a \cdot 60 \cdot 10^8}{P \cdot \bar{\Phi} \cdot \bar{N}}.$$

Воспользовавшись тем, что служебное назначение электродвигателя требует, чтобы среднее допустимое значение \bar{n} числа оборотов было равно его номиналу n , целесообразно установить равными номинальным средние допустимые значения всех аргументов. Это дает симметричное расположение допусков относительно номиналов у всех аргументов.

Действуя таким же путем, можно рассчитать допуски на все параметры связей исполнительных поверхностей электродвигателя, подвергаемые преобразованию, и получить в конечном счете допуски на параметры размерных связей исполнительных поверхностей и отклонения качества материала.

В ряде случаев наиболее простым для установления норм точности связей исполнительных поверхностей машины является экспериментальный путь. Например, представляется чрезвычайно трудным обоснование расчетом допуска на зазор между носиком челнока и образующей иглы в швейной машине из-за сложности математического описания процесса петлеобразования.

Допустимые границы зазора, при котором машина одинаково хорошо будет шить и тонкие и толстые ткани, проще установить экспериментальным путем. Для этого машину, взятую для эксперимента, необходимо оснастить специальным челночным устройством, позволяющим перемещать челнок относительно иглы. Изменяя величину зазора, можно найти те граничные его значения, при которых машина перестает шить.

Нормы точности связей исполнительных поверхностей машины могут быть установлены и в результате изучения опыта эксплуатации машин, аналогичных создаваемой, и на основании опыта лиц, разрабатывающих нормы точности. Однако эти пути менее надежны, чем предшествующие, так как они, во-первых, не дают непосредственной связи норм точности со служебным назначением создаваемой машины, а отражают лишь достигнутое в прошлом, и, во-вторых, лишены объективности.

Поэтому последних путей при разработке норм точности связей исполнительных поверхностей машины следует избегать.

Служебное назначение и конструирование

Выбор исполнительных поверхностей машины и выявление необходимых связей между ними дают ответы на вопросы: чем и как машина должна реализовать служебное назначение? Значит, следующий этап создания машины — выбор и разработка способов и средств, при помощи которых с заданной точностью и наиболее экономичным путем будут реализованы все связи ее исполнительных поверхностей. Этот этап — конструирование. Мы рассмотрим его содержание, пользуясь в основном лишь двумя «базовыми» понятиями — «связи» и «исполнительные поверхности».

Связи каждого вида образуют в машине замкнутый контур. Одна часть контура замыкает сами исполнительные поверхности и может быть названа замыкающим звеном данного вида связи. Другая — обеспечивает требуемый вид связи исполнительных поверхностей. Она обычно складывается из отдельных звеньев, которые могут быть названы составляющими. Следовательно, основную задачу конструирования сформулируем так: «разработка составляющих звеньев связей, придание им нужных физических свойств, прочности, конструктивных форм, размеров, относительного положения, исходя из замыкающих звеньев связей исполнительных поверхностей машины».

В процессе конструирования машины идет непрерывное преобразование составляющих звеньев одного вида связи в составляющие звенья другого вида связи. Такое преобразование преследует цель свести все необходимые связи к размерному виду и материалам, из которых должны быть изготовлены детали машины. Напри-

мер, динамические связи закладываются в машину в виде материалов необходимой прочности, размеров и формы поверхностей, ограничивающих их (определяются расчетно исходя из действующих нагрузок).

Разработчики стремятся сделать машину простой. Связи реализуются наиболее короткими путями, часто одни и те же детали машины одновременно осуществляют различные связи. Например, зубчатые передачи в машинах участвуют в осуществлении и кинематических и динамических связей исполнительных поверхностей. Разработку конструкции машины и ее деталей ведут поэтапно, последовательно переходя от воплощения в конструкции связи одного вида в другой. По мере увеличения числа функций конструктивный облик детали, как правило, дополняется чем-то новым. Свой окончательный вид детали получают лишь тогда, когда все их функции в машине будут окончательно определены и уточнены.

С чего же следует начинать конструирование машины? Как правило, с обеспечения в машине (вспомним определение!) или машиной требуемых форм движения. Движение любой формы создается каким-то источником. Значит, прежде всего нужно выбрать источник движения.

От источника к исполнительным поверхностям машины движение можно передать составляющими звеньями кинематических связей различного рода. Так что следующая задача конструирования — выбор вида кинематических связей и разработка схемы передачи движения от источника к исполнительным поверхностям машины.

Далее определяются средства, обеспечивающие другие виды связей исполнительных поверхностей машины. Так постепенно составляющие звенья различных связей превращаются в детали машины.

Первичным источником относительного движения исполнительных поверхностей машины является двигатель. Выбор двигателя в основном зависит от:

законов относительного движения исполнительных поверхностей, с помощью которых служебное назначение выполняется машиной;

мощности, необходимой для реализации процесса; коэффициента полезного действия, требуемого служебным назначением;

экономичности того или иного вида двигателя.

При выборе двигателя учитывается требование реализовать необходимые движения исполнительных поверхностей машины прямым и наиболее коротким путем. Иными словами, следует избегать преобразования одного вида движения в другой. Преобразующие механизмы увеличивают количество составляющих звеньев в связях исполнительных поверхностей и вносят дополнительные погрешности в звенья замыкающие. В зависимости от служебного значения машины и поставленной задачи может быть выбран электрический, гидравлический, пневматический двигатель, двигатель внутреннего сгорания и т. д.

Вспомним некоторые понятия.

Мощность двигателя определяют по полезной мощности N_p , подсчитанной для наиболее эффективных режимов работы машины.

При установленной полезной мощности N_n необходимую мощность N двигателя определяют исходя из зависимости $N = \frac{N_n}{\eta}$,

где η — коэффициент полезного действия машины, заданный ее служебным назначением.

Разность между необходимой и полезной мощностью двигателя — это потери на преодоление сил трения ($N_{тр}$) в цепи передач. Они неизбежны. Так как величина η задается служебным назначением машины, то потери мощности на трение ограничены.

При определении экономичности двигателя учитываются стоимость самого двигателя, его долговечность, стоимость потребляемой энергии, затраты на эксплуатацию.

Необходимое относительное движение исполнительных поверхностей машины не обязательно создается только одним двигателем. Их может быть несколько — однотипных или разнотипных, особенно тогда, когда надо упростить и укоротить составляющие звенья исполнительных поверхностей. Например, в станках вращательное движение шпинделя или шпинделей, как правило, создается электродвигателями; а прямолинейное — суппортов, столов, бабок — двигателями гидравлическими (гидроцилиндрами). Появляется ряд самостоятельных контуров, каждый из которых обеспечивает какую-то составную часть относительного движения исполнительных поверхностей. При выборе двигателей в

таких случаях общий коэффициент полезного действия машины приходится распределять между контурами согласно зависимости $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_i = \prod \eta_i$, где η_i — коэффициенты полезного действия частных контуров.

После того как двигатель выбран, необходимо передать на исполнительные поверхности движение и мощность. А для этого следует разработать и конструктивно оформить составляющие звенья кинематической и динамической связи исполнительных поверхностей. Как уже указывалось, кинематическая схема машины разрабатывается для того, чтобы выявить механизмы и детали для передачи и преобразования движения, задаваемого двигателем, в относительное движение исполнительных поверхностей машины. Кинематическая связь между исполнительными поверхностями машины и двигателем может быть осуществлена механическим путем, но может и электрическим, гидравлическим или еще каким-либо.

В современных машинах немеханические связи встречаются все чаще. Нередко выбирают смешанные связи: электромеханические, гидромеханические и др., используя специфические преимущества каждого отдельного вида.

Исходные данные для разработки кинематической схемы машины — предельные значения параметров относительного движения исполнительных поверхностей, диапазон регулирования; а при ступенчатом регулировании — число ступеней регулирования и знаменатель ряда ступеней. Используя эти данные, можно определить:

группы передач для преобразования числа оборотов двигателя в пределах заданного диапазона D_n ;

диапазон регулирования передач в каждой из групп с тем, чтобы $D_n = D_a \cdot D_b \cdot D_c \dots D_r$, где $D_a, D_b, D_c \dots D_r$ — диапазоны регулирования групповых передач;

количество передач в каждой из групп с тем, чтобы $Z = P_a \cdot P_b \cdot P_c \dots P_r$, где $P_a, P_b, P_c \dots P_r$ — количество передач в группах;

передаточные отношения, обеспечивающие требуемый диапазон регулирования, и механизмы, их реализующие;

основные кинематические параметры элементов кинематической цепи.

матической цепи (число зубьев, зубчатых колес, шаги ходовых винтов, параметры шатунно-кривошипных механизмов и т. п.).

После этого можно составить и оформить кинематическую схему машины.

В результате разработки кинематической схемы машин формируются состав кинематических звеньев, их кинематические характеристики и относительное расположение. Но чтобы кинематические звенья превратить в детали, необходимо выявить нагрузки, которые им предстоит воспринимать и передавать. Поэтому следующий шаг в конструировании машины — выявление составляющих звеньев динамических связей в машине.

Эти связи образуются силами и моментами сил, действующими в различные периоды работы машины: во время реализации ею технологического процесса, при пуске, торможении, реверсировании.

Итак, нагрузки в машине.

Силы и моменты сил, необходимые для осуществления служебного назначения. Кинематические звенья привода машины полностью участвуют в процессе передачи этих сил и моментов от двигателя к исполнительным поверхностям.

Силы трения. Обычно их принимают пропорциональными нормальной нагрузке на трущихся поверхностях. Соответствующие коэффициенты трения зависят от многого, прежде всего от материала и состояния трущихся поверхностей, условий смазки, скорости скольжения.

Реакции на опорных поверхностях определяются из уравнений равновесия. В статически неопределимых задачах приходится составлять дополнительные уравнения деформаций. В большинстве случаев допустимо рассматривать реакции как сосредоточенные силы. При сравнительно небольшой протяженности опорных поверхностей считают, что равнодействующие сил приложены посередине.

Инерционные нагрузки. Учитываются при переходных процессах (пуске, торможении).

Силы при пуске и торможении. При расчете пусковых моментов кинематическую цепь привода машины сводят к расчетной схеме в наиболее простом варианте: две массы, соединенные упругой связью.

Когда нам становятся ясны силы и моменты, действующие при пуске и работе машины, мы можем со-

ставить расчетную схему и на основании ее определить характер, номинальную величину и направление действия сил и моментов на каждом из звеньев кинематической цепи, учитывая при этом силы сопротивления.

Установив для каждого кинематического звена закон движения, характер и величину действующих на него сил, формулируют служебное назначение звеньев и приступают к их конструированию.

Каждая деталь (кинематическое звено) имеет свое назначение, определенное служебным назначением машины или механизма, в состав которого она входит. Чтобы детали, несущие исполнительные поверхности машины или ее механизмов, а также детали — кинематические звенья, двигались в соответствии с требуемым законом и занимали требуемое относительное положение, их соединяют при помощи базирующих деталей.

На каждую деталь в машине возлагается исполнение определенных функций. В своей совокупности эти функции должны быть отражены и максимально уточнены в формулировке служебного назначения каждой детали.

Для большей наглядности поясним на примерах, что должно быть включено в формулировку служебного назначения деталей.

Валы — опоры для деталей; с их помощью передаются вращательное движение и крутящие моменты. Кроме того, вал часто непосредственно участвует в передаче вращательного движения и крутящего момента от одного зубчатого колеса к другому. Отсюда уточнениями служебного назначения такого вала должны быть точность базирования сидящих на нем деталей, а также величины скорости вращения и момента, передаваемых им.

Зубчатые колеса — служат, как правило, для передачи крутящего момента с одного вала на другой, передачи и преобразования скорости вращательного движения. Уточнения служебного назначения зубчатых колес, следовательно, должны включать величину крутящего момента, передаваемого с вала на вал, скорости вращательного движения зубчатых колес и передаточное отношение.

Корпусные детали, а также станины, основания, кронштейны — это базирующие детали. Поэтому формулировка служебного назначения корпусов, коробок, ста-

нин, оснований, кронштейнов и т. д. должна прежде всего отражать, как и с какой точностью корпусная деталь определяет относительное положение деталей, в нее входящих или к ней присоединяемых.

Помимо этого, корпусные детали — это резервуары, камеры сгорания и т. п. Так, блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания координирует положение деталей и механизмов двигателя и обеспечивает правильное относительное перемещение их. Но, кроме того, он же образует камеры для сгорания рабочей смеси. Функции блока цилиндров во многом отличны, к примеру от функций корпуса коробки скоростей токарного станка. Отличны и условия, в которых им приходится работать. Специфичность назначения каждой детали и условий ее работы должны быть подробнейшим образом отражены в описании служебного назначения.

Формулировка служебного назначения детали на данном этапе проектирования машин может быть еще недостаточно полной. Дело в том, что ряд вопросов, связанных с точностью исполнения предписанных ей функций, остался еще невыясненным. Поэтому возможны дополнения и уточнения служебного назначения. Но этого уже достаточно, чтобы приступить к выбору материала и разработке конструктивных форм деталей.

Основные факторы, влияющие на выбор материала для детали, — силы и нагрузки, воспринимаемые и передаваемые этой деталью, и условия работы ее в машине.

Материалы, из которых изготавливаются детали машин, весьма разнообразны. Чугуны, стали конструкционные и легированные, цветные металлы и сплавы, пластмассы, дерево и т. д. Выбор начинают с определения группы материалов, которые в состоянии дать требуемую прочность, жесткость, износостойкость, термостойкость и другие физические свойства детали. Из намеченной группы выбирают тот, который гарантирует высокое качество детали при наименьшей ее себестоимости.

Необходимо не только учесть стоимость материала, но и затраты по превращению его из полуфабриката в заготовку, а затем в готовую деталь. Решить это на описываемом этапе создания машины можно лишь ориентировочно, данных для более глубокой оценки еще

недостаточно. Часто для большей экономичности сочетают различные материалы.

Конструктивные формы каждой детали создаются исходя из ее служебного назначения путем ограничения необходимого количества выбранного материала различными поверхностями и их сочетаниями.

Разработку конструктивных форм начинают с деталей, на которых расположены исполнительные поверхности машины. Затем переходят к деталям — кинематическим звеньям и, наконец, разрабатывают конструктивные формы деталей базирующих.

Наиболее рациональная последовательность этапов разработки конструктивных форм поверхностей деталей следующая:

- разработать формы исполнительных поверхностей;
- выбрать форму вспомогательных базирующих поверхностей;
- выбрать форму основных базирующих поверхностей;
- разработать конструктивные формы свободных поверхностей.

Детали, базирующие другие детали, исполняют эту часть своего служебного назначения с помощью вспомогательных баз. Вспомогательные базы таких деталей выполняют функции исполнительных поверхностей.

Рассмотрим пример: разработка конструктивных форм вала какого-то узла машины, кинематическая схема которого уже известна и показана на рис. 2.

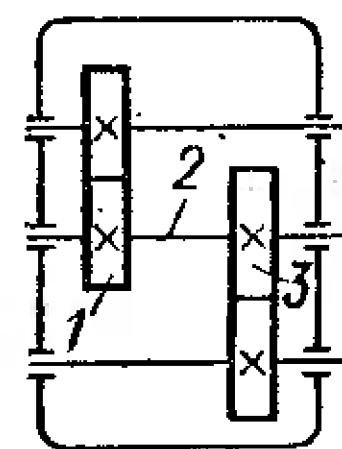


Рис. 2

Вал 2 передает вращательное движение и крутящий момент от зубчатого колеса 1 к зубчатому колесу 3 и определяет их относительное положение в узле. Чтобы вращательное движение и крутящий момент передавались от колеса 1 к колесу 3, их надо лишить шести степеней свободы относительно вала. Этого добиваются созданием двух комплектов вспомогательных базирую-

ших поверхностей. Вообще, в качестве вспомогательных баз могут быть взяты поверхности любой геометрической формы. Но если говорить об экономичности изготовления детали для первого комплекта вспомогательных баз, целесообразно избрать в качестве двойной направляющей базы цилиндрическую поверхность 3 (рис. 3). Плоская поверхность 1 лишает зубчатое колесо возможности перемещаться вдоль оси вала. Вторую опорную базу, препятствующую зубчатому колесу вращаться вокруг оси вала, удобнее создать с помощью промежуточной детали — шпонки. Для размещения ее на валике надо предусмотреть паз 2. По аналогии с этим поверхности вала 4, 5 и 6 образуют второй комплект вспомогательных баз.

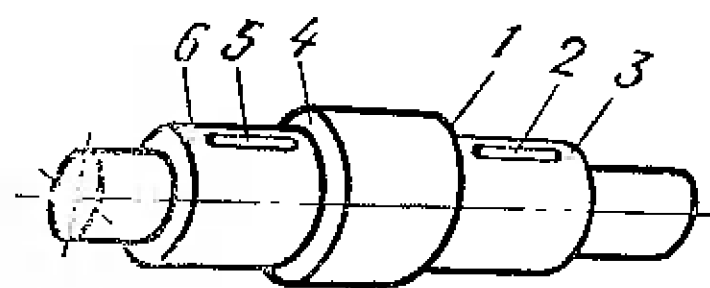


Рис. 3

Чтобы определить положение вала с сидящими на нем зубчатыми колесами относительно других деталей узла, требуется установить основные базирующие поверхности. Так как согласно своему служебному назначению вал должен вращаться, ему необходимо иметь опорные поверхности, образованные вращением какой-то линии вокруг оси вала. В принципе опорные поверхности также могут быть любой формы (конические, бочкообразные и т. д.). Но выгоднее сделать их цилиндрическими. Две опорные цилиндрические поверхности образуют основную двойную направляющую базу вала. Перемещения вдоль оси вал может быть лишен с помощью плоской поверхности, основной опорной базы.

Наконец, для ограничения длины вала необходимо избрать две плоские поверхности и использовать цилиндрическую поверхность для средней части вала. Выбором этих поверхностей, являющихся свободными, будет завершено придание куску материала необходимых конструктивных форм вала.

Аналогично разрабатываются конструктивные формы всех деталей машины. Однако выбор материала и поверхностей, ограничивающих его, еще не означает, что детали будут правильно выполнять свое служебное

назначение. Ведь пока еще не определены размеры поверхностей; их относительное положение и относительное положение самих деталей в машине. Поэтому следующий этап — разработка размерных связей. Установить размерные связи невозможно, не определив:

размеры поверхностей деталей, их относительное положение;

относительное положение деталей в механизмах и механизмов в машине.

Разработка размерных связей обычно начинается с определения размеров поверхностей деталей преобразованием различного вида связей в размерные. Например, ряд размеров деталей формируется при преобразовании кинематических связей: длины плеч рычагов, шаги резьб ходовых винтов и т. п.

Расчеты на прочность, жесткость, выносливость, износостойкость в конечном счете преследуют цель установить основные размеры поверхностей деталей исходя из качества, требуемого служебным назначением, и выбранного материала. В результате таких расчетов устанавливаются, например, модули, диаметры делительных окружностей и ширина венцов зубчатых колес, диаметры шеек валов, типы и размеры подшипников, размеры отверстий под опоры валов в корпусных деталях и т. п. Переход от действующих нагрузок на кинематические звенья к размерам поверхностей деталей или размерам их сечений с учетом избранных материалов есть, по сути, преобразование динамических связей в размерные.

При определении относительного положения поверхностей деталей необходимо учитывать следующее.

Деталь машины — тело пространственное. Поэтому относительное положение ее поверхностей должно быть «организовано» в пространстве.

Деталь участвует в работе машины совокупностями поверхностей: исполнительных, основных базирующих, вспомогательных базирующих, свободных. Поэтому когда говорится об определении относительного положения поверхностей детали, имеется в виду определение относительного положения как совокупностей поверхностей, так и относительного положения поверхностей внутри каждой совокупности.

Определить относительное положение совокупностей поверхностей помогают системы координат. Поэтому хотя бы мысленно их следует построить.

Построение систем координат исполнительных и свободных поверхностей связано со спецификой функций, выполняемых этими поверхностями. Однако во многих случаях в качестве координатных используются плоскости симметрии поверхностей или плоскости, прилегающие к ним.

Что касается базирующих поверхностей, то каждый комплект основных и вспомогательных баз детали — материализация координатных плоскостей, осуществленная строго определенным образом. И прежде чем приступить к увязке относительного положения комплектов базирующих поверхностей, необходимо установить относительное положение базирующих поверхностей в каждом из комплектов баз как плоскостей координатного угла.

Координатные плоскости у реальных деталей материализуются реальными поверхностями с отклонениями формы и поворотами от идеального геометрического их представления. Следовательно, при построении координатного угла необходимо придерживаться определенных правил.

Одну из координатных плоскостей принимают за базу, ее положение считается независимым от положения других.

Совмещать координатные плоскости с базирующими поверхностями необходимо с учетом видов базирующих поверхностей. Общим является то, что независимая координатная плоскость должна совмещаться с той базирующей поверхностью детали, которая лишает большего числа степеней свободы саму деталь или деталь присоединяемую.

Если комплект базирующих поверхностей — установочная, направляющая и опорная базы, то независимую координатную плоскость следует совмещать с установочной базой. Другие соответственно с направляющей и с опорной. Таким образом, направляющая базирующая поверхность должна быть перпендикулярна установочной базе, а опорная — и установочной, и направляющей базам.

Если в комплект базирующих поверхностей входят двойная направляющая и две опорные базы, то координатную ось (обозначим ее O_1X_1) необходимо совместить с осью двойной направляющей (рис. 4). Координатная плоскость — $X_1O_1Y_1$ — плоскость симметрии шпоночного

паза, а плоскость $Y_1O_1Z_1$ совмещена с торцевой поверхностью. Факт построения системы координат указывает на то, что боковые стенки шпоночного паза должны быть параллельны оси цилиндрической поверхности и симметричны относительно нее, торец же вала — перпендикулярен координатным плоскостям $X_1O_1Y_1$ и $X_1O_1Z_1$ или линии их пересечения, т. е. оси O_1X_1 двойной направляющей базирующей поверхности.

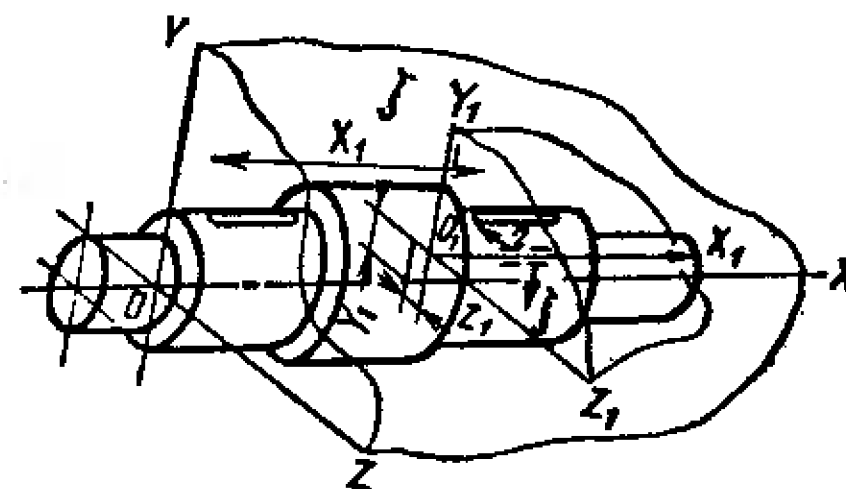


Рис. 4

Если в комплект базирующих поверхностей входят установочная, двойная опорная и опорная базы, то координатная плоскость XOY должна быть совмещена с торцевой поверхностью детали, ось OZ направлена по оси центрирующей поверхности; плоскость же XOZ будет плоскостью симметрии шпоночного паза. Такое совмещение координатных плоскостей с базами требует, чтобы ось центрирующей поверхности была перпендикулярна торцу, выполняющему роль установочной базы. Боковые стенки паза должны быть параллельны и симметричны относительно оси центрирующей поверхности.

Определение относительного положения комплектов базирующих поверхностей сводится к определению относительного положения координатных систем, совмещенных с ними. Чтобы системы координат занимали требуемое положение, прежде всего необходимо избрать одну из них за начало отсчета и по отношению к ней определить положение остальных. Положение детали в машине определяется через основные базы. Вполне логично для отсчета избрать систему координат, построенную на основных базах. На рис. 5 такая система координат реализуется как $OXYZ$.

Система координат O_1, X_1, Y_1, Z_1 построена на одном из комплектов вспомогательных баз, при помощи которых определяется положение зубчатого колеса, сидящего на валу.

Для того чтобы установить положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$ относительно $OXYZ$, необходимо задать:

- 1) координаты начала O_1 , т. е. расстояния x_1 , y_1 и z_1 ;
- 2) три угла Эйлера (угол прецессии, угол нутации и угол собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$). Можно и не пользоваться углами Эйлера, а привязать оси системы $O_1X_1Y_1Z_1$ к соответствующим координатным плоскостям системы $OXYZ$, как показано на рис. 4.

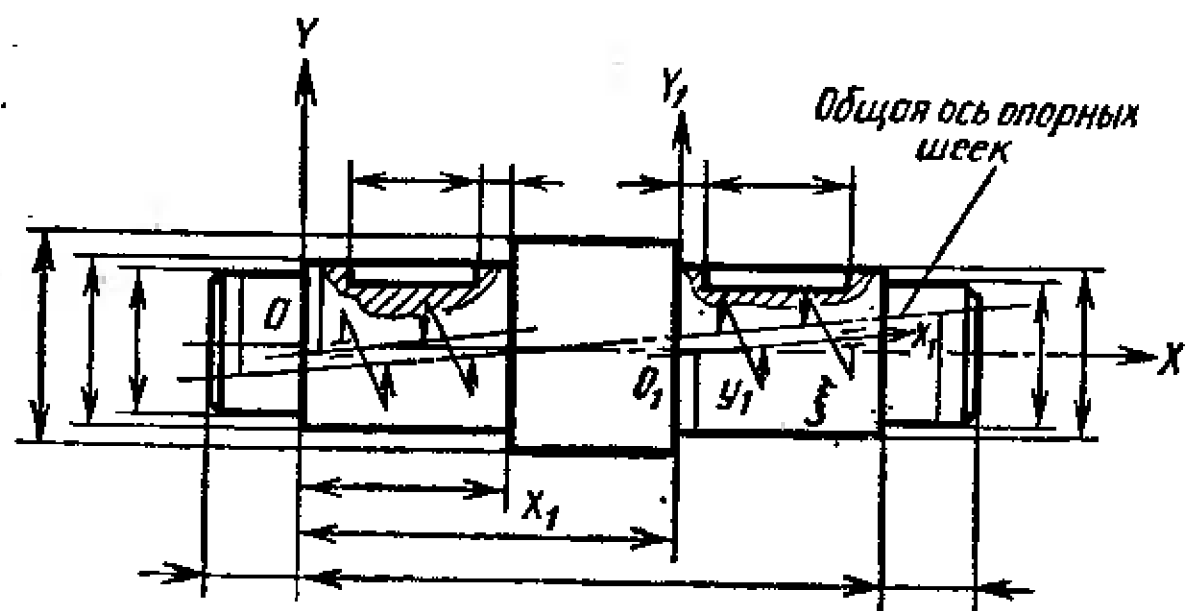


Рис. 5

Определение положения других вспомогательных баз относительно основных происходит так же.

В результате между поверхностями детали устанавливаются определенные размерные связи. На рис. 5 показаны размерные связи поверхностей вала, образовавшиеся в одной из плоскостей. Линейные размеры x_1 , y_1 , а также относительный поворот осей ξ перенесены с рис. 4. Остальные расстояния и относительные повороты поверхностей вала установлены аналогично.

Само по себе определение размерных связей поверхностей детали еще не дает значений их параметров. Номинальные значения параметров размерных связей — у любой детали! — могут быть определены только с учетом ее взаимодействия с другими деталями механизма или машины. Чтобы установить их, необходимо «вскрыть» задачи, в решении которых деталь участвует совместно с другими деталями машины, и при помощи размерных цепей определить номинальные значения соответствующих размеров.

Участие каждого размера детали в решении самостоятельной задачи — исполнении механизмом его служебного назначения — свидетельствует об относительной независимости размеров одного от другого. С другой стороны, строгая определенность роли каждого раз-

мера указывает на то, что в соответствии со служебным назначением детали в механизме или машине возможен лишь один вариант простановки размеров в ее чертежах.

Служебное назначение машины «ведет» от детали к более сложным образованиям. Так, построение машины — это соединение деталей в сборочные единицы разной степени сложности.

Компоновка деталей в сборочные единицы осуществляется через совмещение поверхностей основных баз присоединяемых деталей и сборочных единиц со вспомогательными базирующими поверхностями деталей или сборочных единиц. Как уже отмечалось, что если рассматривать базирующие поверхности как координатные плоскости, соединение деталей и сборочных единиц можно представить как совмещение систем координат. Отсюда суть процесса определения относительного положения деталей и механизмов в машине — выявление размерных связей между совмещенными системами координат (в стыках соединяемых деталей и сборочных единиц) и системой координат машины.

Положение исполнительных поверхностей машины по отношению друг друга обеспечивается расстояниями и относительными поворотами базирующих поверхностей деталей и сборочных единиц, которые связывают детали с исполнительными поверхностями, с базирующей деталью машины. Поскольку положение каждой из них определяется положением системы координат, с нею связанной, то, образно говоря, размерные связи исполнительных поверхностей машины осуществляются через «многоэтажное построение» координатных систем. Так образуются размерные цепи.

Короче, система, детерминируемая служебным назначением машины, — отметим еще раз в заключение это важнейшее обстоятельство — существеннейшим образом зависит от всех своих подсистем, каждая из которых, в свою очередь, имеет собственное служебное назначение.

Заметим еще вот что: требуемая точность деталей машины определяется в результате перехода от допусков на отклонения замыкающих звеньев связей к допускам на отклонения составляющих звеньев этих же связей. Но так как каждый вид связи в конечном счете сводится к размерам и свойствам материалов, то пре-

образованию подлежат и допуски составляющих звеньев связей.

Расчет допусков ведется на основе исходных уравнений и формул, отражающих зависимость допуска функции и допусков аргументов (приведенных на стр. 37). Общность методики расчета допусков позволяет применить ее к любому виду связи.

Требуемый закон относительного движения исполнительных поверхностей машины, ее кинематические цепи должны реализовываться с заданной точностью. Степень нарушения закона относительного движения исполнительных поверхностей машины ограничивается допуском, устанавливаемым в соответствии с требуемой точностью продукции, изготавливаемой машиной. Строгость в соблюдении допуска зависит от точности составляющих звеньев кинематической цепи машины. Например, один из пунктов служебного назначения токарно-винторезного станка — нарезание резьбы определенной точности. Параметр резьбы, непосредственно зависящий от кинематики станка, — шаг. Формируется шаг резьбы посредством кинематической цепи, обеспечивающей связь относительного перемещения резца с вращением детали. Связь описывается уравнением:

$$T = I_{\text{об шп}} \cdot P \cdot i_{\text{уш}} \cdot i_r \cdot i_k \cdot t_x,$$

где T — шаг нарезаемой резьбы, t_x — шаг ходового винта, i_r — передаточное отношение гитары, i_k — передаточное отношение коробки подач, $i_{\text{уш}}$ — передаточное отношение звена увеличения шага, P — передаточное отношение передач с постоянным по номиналу передаточным отношением.

Зная из служебного назначения станка допуск на шаг нарезаемой резьбы, можно перейти к допускам на передаточные отношения механизмов токарного станка, используя зависимость:

$$\delta_T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)^2 \delta_P^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial i_{\text{уш}}}\right)^2 \delta_{i_{\text{уш}}}^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial i_r}\right)^2 \delta_{i_r}^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial i_k}\right)^2 \delta_{i_k}^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial t_x}\right)^2 \delta_{t_x}^2}.$$

Средние значения передаточных отношений механизмов должны быть установлены исходя из среднего значения шага резьбы: $\bar{T} = \bar{P} \cdot \bar{i}_{\text{уш}} \cdot \bar{i}_r \cdot \bar{i}_k \cdot \bar{t}_x$.

Так как каждое из передаточных отношений механизмов в свою очередь замыкающее звено цепи из ряда кинематических звеньев, то, воспользовавшись тем же методом, можно перейти к допускам на них. Действительно, если $i_k = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n$, то, исходя из допуска δ_{i_k} , можно установить допуски $\delta_{i_1} \delta_{i_2} \dots \delta_{i_n}$ и средние значения $\bar{i}_1, \bar{i}_2 \dots \bar{i}_n$.

Определив допуск каждого кинематического звена, необходимо задать допуски на размеры деталей, составляющих кинематическое звено, преобразовав кинематические связи в размерные. Для зубчатых передач, весьма распространенных кинематических звеньев механизмов машин, это означает определение допусков на все размерные параметры зубчатых колес, от которых зависит точность передаточного отношения зубчатой пары. Так как оно есть отношение радиусов основных окружностей, находящихся в зацеплении колес $i = \frac{r_{02}}{r_{01}}$, то на основании уже известных зависимостей могут быть установлены допуски на размеры начальных окружностей пары зубчатых колес.

Необходимость добиваться требуемой точности динамических связей объясняется тем, что точность деталей, достигнутая при изготовлении, все время изменяется. Во времени изменяются значения всех показателей геометрической точности: размеров, расстояний, относительных поворотов, формы и шероховатости поверхности, а также их относительного положения.

Изменения показателей геометрической точности и положения деталей не могут превышать тех пределов, за которыми машина перестает соответствовать своему назначению. Поэтому при расчетах точности машины должны быть установлены допустимые границы действия каждого динамического фактора (исходя из допусков на показатели геометрической точности и положения деталей), а также найдены методы и средства обеспечения установленных границ изменения действия этих факторов.

К сожалению, пока еще не разработана методика расчета точности машин с учетом динамических факторов. Расчеты ведутся поэлементно (выборочно), в местах, где воздействие отдельных динамических факторов проявляется наиболее активно. Однако потребность в

методике расчета точности машины как единого целого, охватывающей весь комплекс связей в машине, ощущается все острее, по мере повышения требований к точности и быстроходности, возрастания действующих нагрузок.

Поскольку динамические связи в итоге преобразуются в машинах в размерные, то расчет их точности с учетом динамических явлений, очевидно, должен базироваться на теории размерных цепей. Проводиться такой расчет должен одновременно с расчетом точности собственно, размерных связей.

Если в машине в соответствии со служебным назначением требуется, чтобы две ее исполнительные поверхности находились одна от другой на протяжении заданного срока службы на расстоянии A_d с допуском δ_{A_d} , то зависит это как от геометрической точности деталей (составляющих звеньев размерной цепи «А»), так и от изменений звеньев под действием сил, температур, износа и пр. Установив исходя из допуска δ_{A_d} величину δ_{A_i} составляющих звеньев, необходимо их частями ограничить погрешности изготовления деталей, погрешности монтажа, величины упругих перемещений, температурных деформаций из-за перераспределения внутренних напряжений в деталях, износ и, возможно, действие других факторов так, чтобы их сумма была меньше или равна допуску составляющего звена. Например, для звена

$$\delta_{A_i} \geq \delta_{A_i, \text{изг}} + \delta_{A_i, \text{монт}} + \delta_{A_i, \text{с}} + \delta_{A_i, \text{вн}} + \delta_{A_i, \text{изн}} + \sum \delta_{A_i, j}$$

Соблюдение допуска $\delta_{A_i, \text{изг}}$ целиком связано с технологией изготовления деталей. Что касается других частных допусков, то реализация их зависит и от конструкции машины, и от технологии изготовления. Не касаясь вопросов технологии, рассмотрим подход к обеспечению требуемой точности звена A_i с конструкторских позиций.

Геометрические погрешности детали и погрешности ее положения в машине, возникающие в процессе монтажа, во многом зависят от того, как правильно будут сконструированы основные базы детали, установлена точность базирующих поверхностей, выбраны точки приложения усилий закрепления и устройства, их создающие. То же касается и вспомогательных баз детали, если

к ним присоединяются и крепятся другие детали. Все эти задачи должны решаться конструктором исходя из величины δ_{A_i} , в результате расчетов контактных деформаций и деформации самой детали под действием усилий закрепления.

Чтобы найти правильное конструктивное решение упругих перемещений детали в пределах допуска, необходимо знать требуемую жесткость детали. Как известно, под жесткостью детали понимается ее способность оказывать сопротивление перемещению выбранной точки в направлении действия силы, порождающей это перемещение. Жесткость принято измерять отношением приращения силы к приращению упругого перемещения, измеряемого в направлении ее действия.

Исходные данные для определения требуемой жесткости детали — допуск, ограничивающий упругое перемещение и максимальное значение P_{max} действующей силы (при работе машины на самых тяжелых режимах).

Температурные деформации детали также должны быть в пределах установленного допуска. Для этого нужно поддерживать температурный режим работающей машины на соответствующем уровне, что зачастую потребует специальных мероприятий: конструирования системы охлаждения, стабилизации температуры окружающей среды и т. п.

Мало изучен и потому трудно управляем процесс деформации деталей из-за перераспределения внутренних напряжений. Такого рода деформации могут возникать и много времени спустя после изготовления машины, когда она уже находится в эксплуатации. К настоящему времени накоплены довольно обширные наблюдения о связи внутренних напряжений с конструктивными формами деталей, разработаны рекомендации по поводу того, как, варьируя формы и размеры поверхностей деталей, уменьшить концентрацию отдельных внутренних напряжений.

Чтобы предотвратить износ деталей машины сверх заданных пределов на протяжении срока службы, следует выбирать материал надлежащей износостойкости; использовать разветвленную и надежную систему смазки; применять смазку, соответствующую условиям и режимам работы машины; защищать трущиеся поверхности деталей от пыли и грязи.

Требуемая точность составляющих звеньев собст-

венно размерных связей определяется расчетом допусков на размеры расстояния и относительные повороты поверхностей деталей (составляющие звенья размерных цепей). Исходить при этом следует из допусков исходных звеньев и ограничений допусков погрешностей формы и шероховатости поверхностей.

Согласно ГОСТ 16319—70 и ГОСТ 16320—70 расчеты допусков ведутся только на размеры, расстояния и относительные повороты поверхностей деталей. Что касается других показателей их геометрической точности — макрогеометрии, волнистости и шероховатости, — то ограничение их пока основывается на общих принципах качественной связи показателей точности. В соответствии с ними допуски на расстояния и размеры поверхностей деталей должны быть больше допусков на величину отклонений от требуемого поворота поверхностей. Эти, в свою очередь, должны быть больше допусков на макрогеометрические отклонения, а последние — больше допусков на микрогеометрические отклонения.

Таковы пути обеспечения требуемой точности составляющих звеньев всех видов связей на этапе конструирования.

В настоящее время многие проблемы обеспечения точности решены, другие — предмет специальных исследований. Здесь же мы хотим остановиться только на одном вопросе, который непосредственно затрагивает тему настоящей брошюры.

До недавнего времени требования к точности машин допускали идеализацию геометрических форм поверхностей деталей. Тем погрешностям, которые из-за этого возникали при определении допусков и контроле точности деталей, особого значения не придавали. Порой их просто не замечали. А там, где они проявлялись, все же ощутимо, им не находили объяснения. Например, не раз замечалось, что из деталей, проверенных и признанных годными, не всегда получаются качественные машины. Бывает и наоборот: из неточных деталей собираются машины требуемого качества. Точно так же известно, что результат второй сборки отличен от того, который был получен при первой. Загадочно, но поскольку такое обнаруживалось не часто, то и воспринималось лишь как жизненный казус.

Положение изменилось, когда стала ощущаться нужда в машинах высокой точности. Многим отраслям про-

мышленности требуются детали с допусками на размеры, исчисляемыми долями микрометра. Прежние методы достижения точности не дают в этом случае желаемых результатов.

Наблюдения непосредственно на предприятиях показали, что одна из главных причин подобных явлений в том, что все методы обеспечения точности машины связаны с идеализированным представлением формы поверхностей деталей. Например, назначая допуски на расстояния между поверхностями детали, предполагают, что поверхности и плоски, и параллельны; устанавливая допуски на непараллельность поверхностей, считают их абсолютно плоскими.

Согласно принятым методам при создании машины, для того чтобы расстояние L между точками k и m оказалось в пределах допуска δL , строят размерную цепь A . В этой цепи L — исходное звено; отталкиваясь от величины δL , устанавливают допуски на звенья размерной цепи. В отношении же погрешностей формы и относительного поворота поверхностей деталей или дают указания, или подразумевают, что их величины должны находиться в пределах допуска (части допуска), на размеры соответствующих звеньев цепи.

При такого же рода допущениях и контролируется точность деталей. Например, неплоскостность измеряется в предположении, что контролируемая поверхность параллельна измерительной базе. Когда же определяется непараллельность, то считается, что контролируемая поверхность плоская.

У деталей машин нет и не может быть абсолютно правильных цилиндрических, конических или плоских поверхностей. Все детали ограничены неправильными криволинейными поверхностями. Поэтому на точность расстояния L будут влиять не только повороты и форма поверхностей, связанных размерной цепью, но и форма и относительный поворот других поверхностей. Видимо, все такие погрешности требуется ограничить исходя из допуска δL . Сделать это существующие методы назначения допусков не позволяют. Отсутствие же надежно обоснованных допусков не дает возможности гарантировать, что величина L уложится в заданные пределы.

Чтобы L отвечало требуемым значениям точности, нужно по-иному отнестись к погрешностям контроля.

Например, если считать поверхности A и B плоскими и параллельными, то расстояние между ними — расстояние между двумя случайно избранными противоположащими точками. В действительности расстояние между разными парами противоположащих точек двух разных по форме криволинейных поверхностей будет различно.

Отказ от одной из идеализаций, на которых строится методика расчета точности машин, пока не затрагивает других идеализаций. Так, еще сохраняется представление о деталях машин как об абсолютно твердых телах. В дальнейшем, видимо, станет необходимым пересмотреть и другие подобные «постулаты».

Но если в качестве исходного принять положение о том, что детали машин ограничены геометрически неправильными криволинейными поверхностями (что полностью соответствует действительности), то придется отказаться от многих привычных представлений и понятий. Покажем на деталях, ограниченных «плоскими» поверхностями, ряд следствий, вытекающих из принятого положения.

1. Одно то, что поверхности деталей не плоски, а криволинейны, сразу же делает неприменимыми понятия геометрии о расстоянии, параллельности или перпендикулярности (в обычном их понимании) при характеристике относительного положения детали в машине или относительного положения поверхностей самой детали. Ведь вопрос о расстоянии между поверхностями A и B «прямолинейной» детали и их параллельности теряет смысл, если они криволинейны. Для разработки новых характеристик необходимо отчетливо представлять сущность явлений, сопутствующих сопряжению деталей в машине.

Контакт деталей, сопрягаемых по криволинейным поверхностям, происходит лишь в отдельных точках. В общем случае присоединяемая деталь может контактировать с деталями, базирующими ее, в шести точках. Распределение их на поверхностях основных баз зависит от функций поверхностей. Так, у детали типа прямоугольного параллелепипеда (рис. 6) три точки контакта возникают на поверхности установочной базы, две — на направляющей и одна — на опорной базирующих поверхностях.

Аналогичный «комплект» точек контакта — на по-

верхностях вспомогательных баз детали в момент присоединения к ней другой детали.

Каждый комплект точек контакта можно рассматривать как своеобразную материализацию системы прямоугольных координат, связанных с деталью. Одна из координатных плоскостей системы будет проходить через три точки установочной базы. Вторая, перпендикулярная первой, — через две точки направляющей базы. Третья, перпендикулярная и к первой, и ко второй координатным плоскостям, — через одну точку опорной

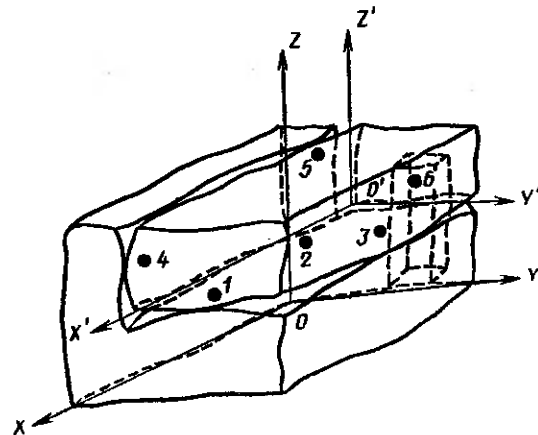


Рис. 6

базы. Таким образом, с каждой деталью связаны системы координат, построенных как на основных, так и на вспомогательных базах. По относительному положению координатных плоскостей можно судить об относительном положении поверхностей детали. По положению систем координат на основных базах детали (относительно системы координат машины) — о положении самой детали в машине.

Новый подход к определению положения детали в машине и относительного положения ее поверхностей — первый результат отказа от идеализации геометрической формы поверхностей. Но мысленное воспроизведение на поверхностях деталей систем координат — тоже идеализация, пришедшая на смену прежней.

2. Системы координат на точках контакта «появляются» в момент сопряжения деталей и образования

этих точек. Они связаны с деталью до тех пор, пока сохраняется ее контакт с деталями, базирующими ее, или присоединенными к ней. И при обработке на станке, и при измерении на контрольной плите, и даже заняв свое место в машине, но перемещаясь, деталь контактирует с базирующими ее деталями в разных точках. А каждая смена точек контакта равноценна смене систем координат.

3. Погрешности формы, поворота и удаленности базирующих поверхностей выступают в единстве и в определенной функциональной зависимости. Погрешности формы поверхностей влияют на расположение точек контакта в стыках. Через расположение точек контакта определяют относительный поворот и удаленность систем координат. При этом относительный поворот систем координат — не только функция поворота базирующих поверхностей детали. Он (поворот) — функция и погрешностей их формы. Удаленность систем координат — функция удаленности базирующих поверхностей, их относительного поворота и погрешностей формы.

Понятие «удаленность» введено, поскольку невозможно применить понятие «расстояние» к криволинейным поверхностям. Оно означает относительное удаление двух противолежащих поверхностей детали в избранном направлении. Характеристикой относительной удаленности базирующих поверхностей может служить отрезок оси координат системы, совмещенной с основными базами детали, отсекаемой координатной плоскостью системы, возникшей на вспомогательных базах. Под собственной удаленностью понимается отрезок оси координат, отсекаемый координатной плоскостью, проходящей через вершины выпуклостей базирующей поверхности детали.

4. Расположение точек контакта в стыке двух соединяемых деталей определяется рельефом поверхностей сопряжения обеих соединяемых деталей. Поэтому относительное положение систем координат, связанных с деталью, зависит не только от рельефа, поворота и удаленности ее базирующих поверхностей, но и рельефа поверхностей баз деталей, сопряженных с нею. Последнее обстоятельство подводит к чрезвычайно важному выводу: значения показателей точности положения детали окончательно определяются лишь в тот момент, когда деталь занимает свое место в машине.

К этому мы приходим, отказавшись от идеализации геометрической формы поверхностей деталей. Какой же общий вывод отсюда?

Прояснилась физическая сущность проявления погрешностей формы, относительного поворота и расстояния поверхностей деталей, что позволяет усовершенствовать методы расчета допусков и охватить расчетом отклонения всех показателей точности детали с учетом их количественной связи. Мы убедились, что для приближения к действительным значениям параметров необходим контроль на совершенно иной принципиальной основе. Прежде всего необходимо четко определить цель контроля точности деталей.

И метрологи, и технологи сходятся на том, что целью контроля должно быть познание действительного размера (слово «размер» применено в обобщающем смысле: оно включает размер, расстояние и поворот поверхностей детали). Но договоренности между метрологами и технологами о том, что следует понимать под действительным размером, пока нет.

Метрологи считают, что это размер, определенный с наивысшей практически достижимой точностью. Технологи же действительным считают тот размер детали, которым она непосредственно участвует в работе машины. Толкование технологов более целенаправленно. Именно такая точность должна интересовать нас при контроле.

Однако в условиях реального производства взаимозаменяемых деталей действительное расстояние, действительный поворот поверхностей детали по своей природе случайны. Поэтому контроль точности деталей надо нацеливать не на познание их величин, а на выявление пределов, в которых могут проявиться их значения, когда деталь займет свое место в машине.

Установить пределы действительных размеров при контроле точности деталей вполне возможно. Но для этого нужны иные, нежели традиционные, представления, методы и средства контроля. Их можно представить в общих чертах следующей схемой:

- описание рельефа поверхностей деталей;
- определение на этих поверхностях границ областей возможного местонахождения точек контакта;
- определение данных для построения годографа или

эллипса рассеивания вектора относительного поворота поверхностей;

выявление пределов действительного расстояния между поверхностями детали.

Нетрадиционный контроль, конечно, потребует разработки новых методов и средств измерения. Эти средства, насколько мы можем их сегодня себе представить, должны достаточно быстро описывать рельеф поверхностей сопряжения контролируемых деталей; перерабатывать полученную информацию следует поручить быстродействующим вычислительным устройствам. По каждой контролируемой детали контрольный агрегат должен «выдавать» карту рельефа поверхностей, годограф или эллипс рассеивания поворота поверхностей, численное значение пределов действительного расстояния между поверхностями.

При наличии таких данных суждения о точности детали будут намного достовернее и, главное, практически ценнее тех, что получают, контролируя деталь принятыми методами.

Игорь Михайлович Колесов

СЛУЖЕБНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Гл. отраслевой редактор В. П. Демьянов

Редактор Г. И. Флиорент

Мл. редактор Н. А. Львова

Обложка художника Б. В. Шиманца

Худож. редактор Т. И. Добровольнова

Техн. редактор Л. А. Кирякова

Корректор С. П. Ткаченко

Т 13377. Индекс заказа 75010. Сдано в набор 5/VIII-77 г. Подписано к печати 1/VIII-77 г. Формат бумаги 84×108¹/₁₆ м. Бумага типографская № 1. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,35. Тираж 61 000 экз. Издательство «Знание», 19135, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1395. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 11 коп.