

позволит значительно повысить чувствительность (точность позиционирования) устройства и расширить его функциональные возможности. Этим целям служат элементы 2, 4, 13 на рис. 1.

В качестве источников гамма-лучей целесообразно использовать изотопы с периодом полураспада, соизмеримым со сроком службы устройства позиционирования, например  $\text{Co}^{60}$  (5,2 года). Ввиду того что в предлагаемом устройстве точность позиционирования не зависит от абсолютного значения интенсивности и что ПР относительно часто перепрограммируется, возможно использование и других менее долгоживущих изотопов, например  $\text{Mn}^{54}$  (0,86 года),  $\text{Zn}^{65}$  (0,67 года). Источник может быть выполнен в виде отдельной вставки стабильного изотопа или в виде части облученной детали (обработанной, например, методом поверхностной активации). Решающее требование к источнику — безопасность для производственного персонала.

В качестве детектора излучения наиболее целесообразны кристаллы  $\text{NaI}(\text{Te})$  или  $\text{CaI}_2(\text{Eu})$ . Кристалл разрезается на секции и покрывается прозрачной герметизирующей оболочкой.

Предлагаемое устройство ориентации ПР с использованием радиационного поля отличается простотой и надежностью. Источники излучения практически безотказны, полностью автономны и не требуют питания.

Использование устройства наиболее целесообразно для манипуляционных операций, требующих высокой точности позиционирования в ограниченном пространстве, когда необходимо корректировать жесткую программу ПР „по месту“ на конечных участках пути к заданным точкам.

УДК 007.52.001

А. В. ДРОЗДОВ, А. Н. ДОМАРЕНКО,  
М. И. ЛЮБОВКИН, канд. техн. наук (БПИ)

## ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Перенесение традиционных средств и способов автоматизации штамповки, сложившейся в крупносерийном и массовом производстве, на мелкие серии оказывается недостаточно эффективным. К качественным признакам, отличающим мелкосерийное штамповочное производство от серийного, относятся:

большая номенклатура выпускаемой продукции по отношению к наличному парку оборудования (в среднем число переналадок в смену около 2);  
нестабильность продукции (в среднем каждое изделие находится в производстве не более 3—5 лет).

Опыт изучения состава технологического оборудования ряда предприятий позволяет сделать вывод о том, что при мелкосерийном типе производства основным видом оборудования является и останется в будущем универсальное. Поэтому повышать уровень автоматизации мелкосерийного штамповочного производства следует преимущественно за счет оснащения универ-

сального оборудования различными внешними средствами автоматизации и объединения автоматизированных участков и робототехнологических комплексов (РТК) в гибкие автоматические линии, к которым из-за большого числа переналадок предъявляются требования быстрой переналадки. Очевидно, переналадку РТК или автоматической линии необходимо осуществлять автоматически, используя магазины штампов и соответствующие автоматические приспособления. Однако развитие этого направления находится в настоящее время на стадии эксперимента. Для создания средств автоматизации с автоматической подналадкой необходимо сформулировать требования, учитывающие параметры основной группы выпускаемых деталей. Но очевидно, что проектировать средства автоматизации для выпуска каждого изделия отдельно невозможно, поэтому целесообразно разделить множество деталей на классы по критерию общности в смысле возможности и целесообразности их автоматизации. Если существует возможность формального описания элементов множества, эта задача не представляет особого труда и в данном случае. При описании изделия приходится учитывать совокупность факторов, которые невозможно описать количественно. Кроме того, факторы могут быть взаимно зависимыми и при этом еще приходится учитывать технологические особенности производства: состав и тип оборудования, степень его износа и приспособленность для целей автоматизации. Таким образом, для конкретного изделия приходится учитывать группы факторов, связанные с конструктивными особенностями, особенностями технологии, возможностями оборудования, а также свойствами обрабатываемого материала.

Первым этапом решения задачи классификации является формальное задание элемента множества. Описание элемента зависит от цели исследования и от критерия, по отношению к которому производится классификация. В нашем случае ставится задача повышения уровня автоматизации на базе использования средств с автоматической подналадкой. Это обстоятельство и определяет характер обследования производства по составу деталей и существующей технологии. Исходные данные оформляются в виде таблицы, где констатирующая часть содержит сведения о конструктивных и технологических особенностях деталей, а в аналитической части содержатся экспертные оценки, отображающие возможности и пути повышения уровня автоматизации каждой конкретной детали. Из-за трудности формализации аналитическая часть таблицы заполняется экспертами в двоичной системе (1 — да, 0 — нет). Для определения сложности деталей была принята следующая шкала: 0 — простая; 1 — средней сложности; 2 — повышенной сложности; 3 — сложная и 4 — особо сложная. Эта шкала учитывает сложность контура, изгибы, возможность автоматической ориентации и используется экспертами для оценок. Анализ таблицы позволяет сделать вывод о том, что большинство деталей имеет одну или две технологические операции. По таблице каждой детали можно поставить в соответствие вектор  $R_i$ :

$$R_i = \{\theta, \alpha_j, \beta_j, \gamma_j\},$$

где  $i$  — номер детали;  $j$  — номер координаты вектора в своей группе;  $\alpha, \beta, \gamma$  — координаты вектора, характеризующие соответственно:  $\alpha$  — параметры заготовки;  $\beta$  — параметры детали;  $\gamma$  — возможность автоматизации (экспертные оценки);  $\theta$  — годовой выпуск детали.

Рассмотрим группу координат  $\gamma$ , характеризующую соответственно возможности изготовления деталей на автомате  $\gamma_1$ , автоматизации первой операции  $\gamma_2$ , автоматизации второй операции  $\gamma_3$ , а также материал заготовки  $\gamma_4$  ( $\gamma = 1$  — металл,  $\gamma = 0$  — неметалл).

Методом экспертных оценок все множество  $A$  выпускаемых деталей по возможности автоматизации разбивается на четыре класса: класс  $A_1$  — детали, изготовление которых может быть полностью осуществлено на автоматах, и детали, первая операция изготовления которых может быть также осуществлена на автоматах без автоматизации последующих операций;  $A_2$  — детали, первая операция изготовления которых может выполняться на автоматах с дальнейшей автоматизацией выполнения последующих операций;  $A_3$  — детали, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации первой технологической операции;  $A_4$  — детали, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации первой и второй технологической операции;  $A_5$  — детали из слоистых материалов, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации.

В результате получим логическое условие принадлежности деталей к классам

$$A_1 - P_1 = (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 1) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 1).$$

Тогда

$$\begin{aligned} A_1 &= \{Q_i \in A/P_1\}; \\ A_2 - P_2 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 1) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 1) \wedge (\gamma_4 = 1), A_2 = \{Q_i \in A/P_2\}; \\ A_3 - P_3 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 1), A_3 = \{Q_i \in A/P_3\}; \\ A_4 - P_4 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 1) \wedge (\gamma_4 = 1), A_4 = \{Q_i \in A/P_4\}; \\ A_5 - P_5 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 0), A_5 = \{Q_i \in A/P_5\}, \end{aligned}$$

где  $K_B$  — критерий целесообразности.

Для оценки приближенного значения  $K_B$  предположим, что средняя производительность автоматизированного оборудования  $K$  и максимальное число переналадок в смену  $R$  со средним временем переналадки  $t_n$ . Тогда критерий целесообразности по количеству выпуска определится как

$$K_B \approx \frac{(T - Rt_n) K}{R},$$

где  $T$  — плановое время работы оборудования в смену.

Автоматизация в каждом классе реализуется конкретной схемой, которая содержит соответствующие технические средства. Схема автоматизации первого класса автоматизирует подачу полосы в пресс-автомат с помощью штабелера и манипулятора. Манипулятор захватывает заготовку из стопы и подает ее на позицию захвата. Вырубленная деталь попадает в лоток и далее в тару для деталей.

В схеме автоматизации второго класса первая операция штамповки (вырубка контура и пробивка отверстия) осуществляется прессом-автоматом, так же как и в схеме автоматизации первого класса. После первой операции детали сбрасываются в тару и подаются к устройству набивки кассет. Кассеты устанавливаются на шиберное устройство, которое подает детали в пресс-

сы, и осуществляется вторая операция штамповки (например, гибка). Схема автоматизации третьего класса аналогична схеме автоматизации первого класса. Однако в этом случае осуществляют подачу заготовки на универсальный пресс. Схема автоматизации четвертого класса осуществляет подачу заготовки в первый пресс также штабелером и манипулятором. Вырубленная деталь захватывается из прессы первым роботом и подается на транспортное устройство, которое транспортирует деталь в зону обслуживания второго робота. Второй робот захватывает ее и подает в зону обработки второго прессы. Обработанная деталь сбрасывается в тару. В схеме автоматизации пятого класса учитывается то, что в данном случае осуществляется штамповка слоистых материалов с предварительным нагревом заготовки. В этой схеме перед подающим устройством установлен нагревательный элемент. Подача заготовки в пресс производится с помощью устройств, рассмотренных выше.

Предложенные схемы автоматизации для каждого класса учитывают технологию изготовления, но не учитывают геометрических размеров деталей. В каждом классе могут встретиться детали, родственные по способу изготовления, но в значительной степени отличающиеся размерами. Отличие размеров оказывается столь значительным, что создание технических средств, удовлетворяющих по своим характеристикам всем представлениям класса, становится невозможным.

Эту трудность можно преодолеть, разбив полученные классы на подклассы, определив для каждого диапазон подналадки соответствующей схемы автоматизации. Для определения подклассов и диапазонов подналадки в них рассмотрим группу координат вектора, которая отражает длину  $a_1$ , ширину  $a_2$ , толщину  $a_3$  заготовки. Каждая координата представляет собой непрерывную случайную величину, для которой на основании данных обследования строится эмпирическое распределение. Отбрасывая области распределения, соответствующие малым вероятностям, определим множество поддиапазонов наладок по данному параметру  $\rho_{\min}$  и  $\rho_{\max}$ :

$$M = \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} f(\alpha) d\alpha.$$

Выделение соответствующих диапазонов происходит также при помощи экспертных оценок. Пусть, например, на кривых распределения координат  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  вектора выделены диапазоны: для  $a_1 - \rho_1^i \div \rho_2^i$ ,  $\rho_3^i \div \rho_4^i$ ; для  $a_2 - \rho_1^{ii} \div \rho_2^{ii}$ ,  $\rho_3^{ii} \div \rho_4^{ii}$ ; для  $a_3 - \rho_1^{iii} \div \rho_2^{iii}$ . Тогда можно сформулировать критерии разбиения всего множества деталей  $A$  на классы, характеризующие общность параметров заготовки. При данных допущениях получается четыре класса:

первый класс  $V_1 = \{Q_i \in A/P_6\}$ ,

где  $P_6 = (\rho_1^i < a_1 < \rho_2^i) \wedge (\rho_1^{ii} < a_2 < \rho_2^{ii}) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$ ;

второй класс  $V_2 = \{Q_i \in A/P_7\}$ ,

где  $P_7 = (\rho_1^i < a_1 < \rho_2^i) \wedge (\rho_3^i < a_2 < \rho_4^i) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$ ;

третий класс  $V_3 = \{Q_i \in A/P_8\}$ ,

где  $P_8 = (\rho_3^i < a_1 < \rho_4^i) \wedge (\rho_3^{ii} < a_2 < \rho_4^{ii}) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$ ;

четвертый класс  $V_4 = \{Q_i \in A/P_9\}$ ,

где  $P_9 = (\rho_3^I < \alpha_1 < \rho_4^I) \wedge (\rho_1^{II} < \alpha_2 < \rho_2^{II}) \wedge (\rho_1^{III} < \alpha_3 < \rho_2^{III}) \wedge \bar{P}_5$ .

Очевидно, что  $V_1, V_2, V_3, V_4$  есть множества, полученные ориентированно на соответствующие схемы автоматизации.

Сформулируем логические условия и определим массив деталей для изготовления по первой, третьей и пятой схемам автоматизации.

$$P_{11} = P_6 V P_7 V P_8 V P_9.$$

Тогда массив деталей для изготовления по первой схеме автоматизации  $W_1 = \{Q_i \in A/P_{11}\}$  подразделяется на четыре подкласса деталей, определяющих соответствующие подналадки оборудования:  $W_1^1 = W_1 \cap V_1$ ;  $W_1^2 = W_1 \cap V_2$ ;  $W_1^3 = W_1 \cap V_3$ ;  $W_1^4 = W_1 \cap V_4$ . Массив деталей для изготовления по третьей схеме  $W_3 = \{Q_i \in A_3/P_{11}\}$  подразделяется также на четыре подкласса:  $W_3^1 = W_3 \cap V_1$ ;  $W_3^2 = W_3 \cap V_2$ ;  $W_3^3 = W_3 \cap V_3$ ;  $W_3^4 = W_3 \cap V_4$ . Массив деталей для изготовления по пятой схеме  $W_5 = \{Q_i \in A_5/P_{11}\}$  подразделяется соответственно на четыре класса:  $W_5^1 = W_5 \cap V_1$ ;  $W_5^2 = W_5 \cap V_2$ ;  $W_5^3 = W_5 \cap V_3$ ;  $W_5^4 = W_5 \cap V_4$ .

Логическое условие  $P_{11}$  очевидно является соответствующим ограничением для проектирования технических средств автоматизации первой операции.

Сформулируем логическое условие разбиения второго и четвертого классов деталей на подклассы по координатам вектора, характеризующего длину  $\beta_1$ , ширину  $\beta_2$ , толщину  $\beta_3$ , сложность детали  $\beta_4$ .

Применив подход, используемый при анализе заготовок, получим некоторое условие

$$P = P_1' V P_2' V \dots V P_k',$$

где  $k$  — количество координат вектора, характеризующих параметры детали.

Очевидно, что это условие является ограничением при проектировании межоперационной связи во второй и четвертой схемах автоматизации и определяет диапазоны поднастройки оборудования межоперационной связи. Тогда массив деталей для изготовления во второй схеме автоматизации равен  $W_2 = \{Q_i \in A/P_{11}\}$  и подразделяется на четыре подкласса деталей, определяющих соответствующие подналадки оборудования:  $W_2^1 = W_2 \cap V_1$ ;  $W_2^2 = W_2 \cap V_2$ ;  $W_2^3 = W_2 \cap V_3$ ;  $W_2^4 = W_2 \cap V_4$ . В свою очередь массив деталей по четвертой схеме равен  $W_4 = \{Q_i \in A/P_{11}\}$  и также подразделяется на четыре подкласса деталей:  $W_4^1 = W_4 \cap V_1$ ;  $W_4^2 = W_4 \cap V_2$ ;  $W_4^3 = W_4 \cap V_3$ ;  $W_4^4 = W_4 \cap V_4$ .

Таким образом, методом экспертных оценок все множество деталей разделено на ряд классов по степени возможности и целесообразности автоматизации. Каждому классу поставлена в соответствие своя схема автоматизации, сформулированы логические условия, определяющие ограничения на проектирование элементов, упомянутых в схемах автоматизации, определены диапазоны подналадок. Далее, с помощью тех же логических условий получены массивы деталей и их подмассивы для обработки при помощи соответствующих схем автоматизации. При этом каждому подмассиву ставится в соответствие диапазон подналадки принятой схемы автоматизации.