

УДК 621.01

А. Н. Михайлов¹, д-р техн. наук, проф., Б. С. Котляров², канд. техн. наук,
В. Б. Котляров¹, аспирант, С. Б. Котляров¹, соискатель

¹ Донецкий национальный технический университет

² Москва, Россия

Тел: +7(988)-55-40-021; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362;

E-mail: tm@fimm.donntu.org; boris.kotlyarov@mail.ru; velidarkotlarov@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье представлен специфический подход к созданию функционально-ориентированных технологий при изготовлении изделий преимущественно из листовых материалов, в особенности тонколистовых. Этими материалами могут быть листы металлопроката, полосы и ленты, листовые пластики и композиты, текстолит, листовое стекло и т.д. Анализ функций элементов деталей, отдельных поверхностей, частей, участков, зон, микрзон деталей из листовых материалов показывает некоторые особенности при установлении требований к деталям и их поверхностям. В свою очередь изменяется подход к формированию структурных схем обработки деталей, схем функционально-ориентированных технологических воздействий, применяемой оборудовании и инструмент. Имеются особенности при выполнении финишных операций и нанесении покрытий с целью изменения свойств поверхностей.

Ключевые слова: тонколистовые материалы, зона, функция, функциональные признаки, технология, технологическое воздействие, покрытия.

A. N. Mihailov, V. B. Kotliarov, B. S. Kotlyarov, S. B. Kotliarov

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF FUNCTIONALLY ORIENTED TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING PRODUCTS IN MECHANICAL ENGINEERING FROM SHEET MATERIALS

This article presents a specific approach to the creation of functionally oriented technologies in the manufacture of products mainly from sheet materials, especially thin sheets. These materials can be metal sheets, strips and strips, sheet plastics and composites, textolite, sheet glass, etc. Analysis of the functions of elements of parts, individual surfaces, parts, areas, zones, microzones of parts made of sheet materials shows some features when establishing requirements for parts and their surfaces. In turn, the approach to the formation of structural schemes for processing parts, schemes of functionally-oriented technological influences, the equipment and tools used is changing. There are special features in finishing operations and applying coatings in order to change the properties of surfaces.

Keywords: sheet materials, zone, function, functional features, technology, technological impact, coatings.

1. Введение

В настоящее время в машиностроении и приборостроении большая масса изделий выполняется из листовых материалов, в особенности тонколистовых: листового проката черных, цветных металлов, алюминиевых сплавов, а также неметаллических материалов, в т. ч. стекла и пластиков.

Функциональный анализ элементов и поверхностей деталей из листов показывает, что в перечень выполняемых функций по предназначению в составе изделий входят:

- образование и сохранение формы образуемых деталей, геометрии и размеров деталей, в т. ч. объемной и пространственной 3-хмерной формы;
- восприятие внешних усилий от сопряженных деталей, опорные функции;
- координирующие и установочные функции;
- соединяющие функции деталей в механизмах, скрепы;
- передача движений в кинематических цепях, восприятие динамических нагрузок;

© Михайлов А.Н., Котляров В.Б., Котляров Б.С., Котляров С.Б.; 2022

- эргономическое и эстетическое оформление изделий.

Все указанные функции обеспечиваются элементами деталей и поверхностями и локализованными участками поверхностей этих элементов.

Цель и задачи.

Целью настоящей работы является установление взаимосвязи функционально значимых признаков деталей и их элементов из листового материала, в том числе образующих пространственные объемные формы и структурных схем функционально-ориентированных технологических воздействий для их технического обеспечения.

Указанная цель достигается путем решения ряда задач.

1. Установление характера относительных движений поверхностей листовых заготовок и инструмента в структурных схемах формирования простых и сложных пространственных геометрических образований деталей.

2. Установить множество обобщенных структурных схем формирования деталей из листовых материалов и принцип их повторяемости при создании сложных пространственных геометрических форм.

3. Отражение установленных взаимосвязей требований к деталям из листовых материалов и функционально-ориентированными технологическими воздействиями в формализованном виде.

Основное содержание и результаты работы.

Использование тонколистовых металлических и неметаллических материалов для изготовления деталей машиностроительного назначения ограничивается номенклатурой самого листового проката и его первоначальными геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами [1, 2]. Поперечное сечение материала и первоначальные поверхностные свойства материала уже определены в металлургическом цикле производства. При применении тонколистового материала для изготовления деталей в машиностроительном цикле устанавливается порядок изменения пространственного взаимного расположения элементов плоского материала с целью обеспечения функционального их предназначения в сфере эксплуатации. При этом формированию подлжет лист материала путем изменения контура плоского листа, а пространственные объемные формы деталей образуются за счет относительного перемещения участков и частей листового материала по установленным координатам и размерам [3, 4, 5]. Как правило, такое перемещение внутреннего материала листа осуществляется применением операции гибки или штамповки.

Другой способ формирования пространственных объемов детали осуществляется путем сборки с дополнительными элементами с применением сварки, пайки, склеивания.

Конечная геометрия и форма деталей из листовых материалов определяется целевой функцией самой детали и частными функциями отдельных элементов, частей и участков рассматриваемой детали. Основные обобщенные и частные функции деталей из листового материала, выполняемые в составе механизмов и машин, указаны в таблице 1.

Обобщенные целевые функции относятся ко всей детали и выражают общую цель ее создания для выполнения определенных задач в составе механизма или машины.

Таковыми общими функциями являются следующие функции:

- формирование необходимой геометрии пространственного расположения частей и элементов детали;

- сохранение сформированной геометрии в течение жизненного цикла, т.е. заданного срока эксплуатации;

-удобство безвредной утилизации отработанной детали.

В качестве частных функций деталей и их частей и элементов могут проявляться следующие функции:

- восприятие внешних нагрузок отдельными элементами и частями детали;
- соединение деталей в качестве промежуточного звена;
- осуществление контактов с сопрягаемыми деталями в качестве силовых промежуточных, передающих звеньев;
- применение в кинематических цепях в качестве связующих звеньев;
- использование в качестве экранов, пропускающих, поглощающих, отражающих световые потоки и потоки электромагнитных и иных полевых излучений;
- использование в качестве проводников электричества или диэлектриков;
- создание эргономического и эстетического оформления внешнего вида изделий;

Таблица 1. – Обобщенные и частные функции деталей из листового материала, и их элементов.

| № п/п | Наименование функции и задачи | Статус функции | Отношение к части детали | Тип атрибута детали | Технологическое обеспечение и свойства |
|-------|--|----------------|--------------------------------|--|--|
| 1. | Формообразование и сохранение геометрии детали | Общая | Деталь и части детали | Структура, объем, поверхность | Формообразование: резанием, гибкой и т.д. |
| 2. | Основания, опорные и несущие элементы, восприятие внешних воздействий, передача усилий деталям | Общая | Деталь, части детали, элементы | Структура, объем, контуры, поверхность | Формирование устойчивости, прочности |
| 3. | Восприятие и передача крутящих моментов, ударных нагрузок | Частная | Деталь, части детали | Структура, контуры, поверхность | Прочность, твердость, шероховатость, упрочняющие технологии |
| 4. | Электропроводимость, свойства диэлектрика | Частная | Деталь, части детали | Структура, поверхность | Свойства материала, специальные покрытия |
| 5. | Защитные панели и ограждения внутренних объемов | Частная | Отдельные элементы | Поверхности, контуры | Отделка поверхностей, нанесение покрытий |
| 6. | Экраны защитные и пропускающие лучи и излучения в заданном диапазоне, отражатели | Частная | Деталь, части детали | Структура, поверхность | Свойства материала, дополнительные покрытия составами с заданными свойствами |
| 7. | Внешний вид, дизайн, эргономические требования, цвет, фальшпанели | Частная | Деталь, части детали | Поверхность | Механическая, химическая и др. виды обработки поверхности, от- |

| | | | | | |
|----|--|---------|--------|---------------------|--------------------------------------|
| | | | | | делка поверхности |
| 8. | Составляющие многослойных изделий, деталей | Частная | Деталь | Контур, поверхность | Профилирование, отделка поверхностей |

На основании выполняемых в механизме функций придаются требования к элементам деталей, профилированию контура, свойствам поверхностей отдельных элементов, частей и зон деталей. Выбор структуры материала осуществляется предварительно, в момент выбора марки материала листа, поэтому, как правило, внутренняя структура материала изменению или улучшению при дальнейшей обработке не подвергается.

Для профилирования контура деталей из листа создан ряд специальных видов оборудования, среди которых можно выделить следующие:

- отрезные (гильотины);
- раскройные (газопламенные, плазменные, лазерные);
- механические (лезвийные, резцовые);
- прессовое и штамповочное оборудование;

Для формирования пространственных объемных конструкций из разверток листового материала созданы и широко применяются в производстве гибочные станки и автоматы, работающие как автономно, так и с ЧПУ, работающие с компьютерными программами и оснащенные электромеханическим приводом, гидравлическим, пневматическим. Во многих случаях, для дополнительной обработки деталей из тонколистового материала требуется использование дополнительно станков общемашиностроительного назначения – токарных, фрезерных, многоосевых станков с ЧПУ, обрабатывающих центров.

- Для отделки поверхностей листовых деталей имеется ряд специальных машин;
- прокатные установки, упрочняющие поверхности;
 - гравировочные машины;
 - машины для нанесения покрытий на листы, окрасочные комплексы.

Общий перечень оборудования для обработки листовых материалов с применением термического и электромеханического обеспечения приведен в таблице 2.

Таблица 2. – Виды оборудования для обработки листовых материалов

| Характер обработки | Вид обработки | Энергетическое обеспечение процесса, оборудование и инструмент | | Примечание |
|----------------------------------|---|--|--|----------------------------|
| Периметр: раскрой цельного листа | Порезка, обрезка, формирование контура детали или развертки под гибку | Термическая | Механическая и гидроабразивная | ПО для машин и линий с ЧПУ |
| | | Машины газокислородной, газопламенной, газоплазменной резки | Гильотины, Пресса: гидравлические, электромеханические, машины гидроабразивной резки | |
| Плоскость | Вырезка, вырубка, пробивка | Газопламенная, газоплазменная, лазерная | Пресса: гидравлические, электромеханические, пневматические, координатно-пробивные | |
| Профилирование, | Гибка, штамповка, вытяжка | | Ножи, штампы, матрицы и пуансоны | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| пространственные конструкции | | | | |
| Обработка кромки и поверхности | Фальцевание, очистка, зиговка, гравировка, травление | | | |
| Обработка рулонных материалов | Машины и линии для правки, продольной и поперечной резки, для перфорации и гибки рулонных материалов | | | |

Принимая во внимание, что при необходимости дальнейшей обработки заготовок из листового материала на оборудовании токарно-фрезерной группы, функционально-ориентированные технологические воздействия на листовой материал при формировании геометрии деталей можно ограничить выражением относительного движения детали и инструмента по одной или двум осям координат, как показано на рис. 1а, б.

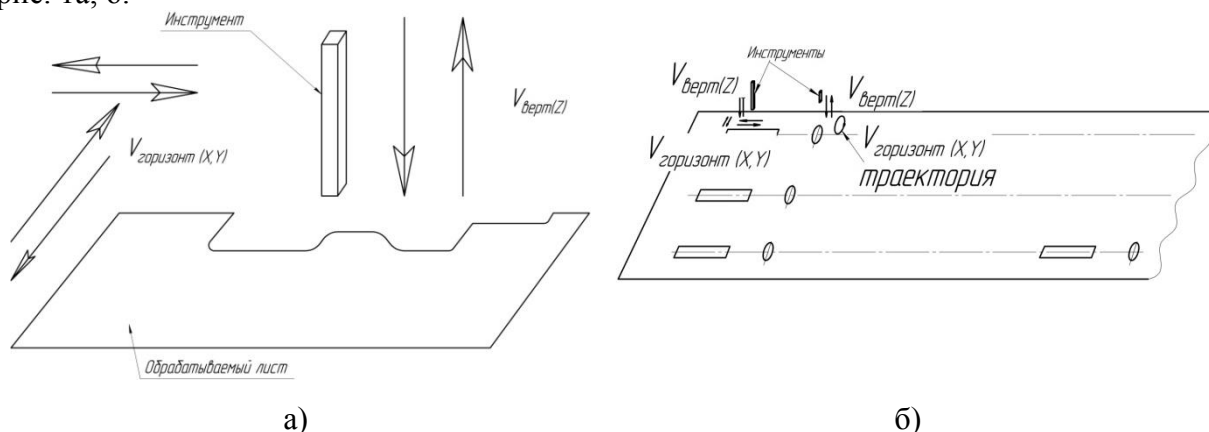


Рисунок 1. Схемы относительных движений инструмента и заготовки при обработке листа:

а) при обработке контура детали; б) при обработке отверстий в листе.

Основное формирующее движение осуществляется в вертикальном направлении, ($V_{верт}$) - это движения инструментов. В горизонтальном направлении движения инструментов ($V_{горизонт}$) являются переносными в относительном движении, и они обеспечивают формирование контура детали и контура отверстий в листе.

Структурная схема технологического взаимодействия инструментов и листа-заготовки может быть представлена как схема кинематико-динамического взаимодействия и выражена в виде, приведенном в таблице 3.

Формализованное выражение всего множества возможных операций по обработке деталей из листового материала может быть представлено как конъюнкция выражений функционально-ориентированных технологических воздействий по обработке детали. Сюда включается обработка контура и формирования сквозных отверстий в детали, а также технологические воздействия штамповки и гибки для формирования пространственной структуры детали, а также технологические воздействия с це-

люю отделки поверхностей и нанесения различных знаков и покрытий на поверхности детали.

Таблица 3. – Структурные схемы технологических воздействий при обработке листа.

| <i>Структурные схемы обработки деталей из листовых материалов</i> | | | |
|---|------------------------------------|--|---|
| <i>Виды движений в схеме</i> | <i>Формализованное обозначение</i> | <i>Функциональная связь элементов</i> | <i>Результат реализации</i> |
| | $T\Phi^{3_{XYZ}}$ | $T\Phi^{3_{XYZ}} = f\{(L_{XYZ}) \cup (L_{X_j, Y_j, Z_j})\}$ | Формирование контура |
| | $T\Phi^{3'_{XZ}}$ | $T\Phi^{3'_{XZ}} = f\{(L_{XYZ}^L) \cup (L_{X_3, Z_3}^{Э_{проф}})\}$ | Профилирование, отбортовка, фальцевание, зиговка и т.д. |
| | $T\Phi^{3'_Z}$ | $T\Phi^{3'_Z} = f\{(L_{XYZ}^L) \cup (L_{Z_3}^Э)\}$ | Штамповка, вытягивание, выдавливание, знаки |
| | $T\Phi^{D'_{XYZ}}$ | $T\Phi^{D'_{XYZ}} = f\{(S_{XYZ}^{D_{ноб}}) \cup (S_{X_j, Y_j, Z_j}^{Э_{ноб}})\}$ | Нанесение защитных и декоративных покрытий |

Тогда формальное представление технологии будет иметь вид:

$$T_{\Sigma}^D = T_{KuO}^{V, f_i^{Pk}} \cup T_{GuIII}^{V, f_j^{Pr}} \cup T_{II}^{V, f_q^{Pt}}, \tag{1}$$

где - символ Т в выражении (1) означает технологическое воздействие общего вида, а индексация при Т отражает принадлежность к тому или иному виду обработки и локализации обрабатываемых участков в общей системе координатах XYZ детали;

- $f_{(i, j, q)}$ означает различное функциональное наполнение и отражение различных по предназначению технологических воздействий;

- $P_{(k, r, t)}$ означает параметрическое обеспечение в принятых терминах и размерных величинах функционально-ориентированных технологических воздействий.

Каждый член правой части выражения (1) может быть расписан с разной глубиной отражения технологического воздействия, включая подробную локализацию каждого участка, и вплоть до указания величин силовых воздействий, направлений и скоростей относительных движения инструмента и заготовки, длительности технологического воздействия при необходимости. Эта информация является наполнением функции $f_{(i, j, q)}$ для каждого вида обработки, отражающая суть проводимых изменений заготовки.

Как правило, в системе производства конкретного предприятия всегда имеется альтернатива выбора технологического маршрута обработки деталей из листа. Для выбора оптимальной технологии обработки деталей из листовых материалов на действу-

ющем предприятии необходимо оценивать эффективность технологических воздействий по каждому из возможных маршрутов [6, 7]. При этом необходимо учитывать массовость выпуска однотипных деталей; наличие и техническое состояние различных видов оборудования; обеспеченность оснасткой и инструментом для осуществления одинаковых операций. В число рассматриваемых операций должны быть включены операции формирования контура и отверстий в листах, операции изменения профиля плоских листов, а также операции гибки заготовок в различных осевых направлениях.

Для четкого учета всех факторов влияния на эффективность технологий необходимо разработать критерий оценки эффективности для каждого функционально-ориентированного технологического воздействия. В идеальном случае критериальный показатель эффективности должен включать в себя как конструктивные параметрические требования, так и технологические достижимые параметры технологических воздействий. Отдельным блоком факторов и параметров оценки эффективности технологии должны включаться показатели общих производственных и организационных условий данного предприятия. К ним можно отнести массовость и управляемость производства, условия информационного и компьютерного обеспечения, квалификация кадрового ресурса специалистов в IT-технологиях и в обслуживании технических средств обработки деталей, организацию экономической службы предприятия, логистику и т.п.

Полученную информацию можно использовать для модернизации технологии изготовления деталей из разнородных листовых материалов при разработке проектного подхода к модернизации предприятия, который обеспечивает решение стратегических задач и экономию инвестиционных затрат. Основой для решения задач с таким подходом является разработка базы конструкторских и технологических параметров деталей.

Характеристики конструкторских параметров определяют время обработки детали.

Основное время процесса лазерной резки из прокатного листа определяют толщина листа, из которого изготавливается деталь, его марка, периметр и количество внутренних и периметр наружного контуров детали. Основное время обработки заготовки из листа на координатно-пробивном прессе определяет количество применяемого инструмента и количество ударов, необходимых для изготовления детали с учетом координат разнесения отверстий по плоскости детали. Основное время свободной гибки заготовки при формировании пространственной формы детали определяют количество линий гибки, а также максимальная высота полки.

В качестве технологических параметров рассматривается на начальном этапе проектирования эскизный проект маршрутной технологии, программа выпуска, масса и габаритные размеры детали.

По максимальным и минимальным значениям конструкторских и технологических параметров деталей формируется группа деталей-представителей для каждого технологического маршрута обработки. По установленным параметрам предварительно методом рекуррентно-итеративного перебора с учетом выражения (1) выбирается оборудование для обработки деталей.

Критерий для выбора предпочтительного оборудования и реализации маршрутной технологии обработки в общем случае может включать следующие конструктивные, технологические и производственные параметры:

- S_L – толщина листа;
- $l_{ПК}$ – длина периметра контура детали;
- $l_{П/отв\Sigma}$ – суммарный периметр отверстий детали;

- $n_{отв}$ – количество отверстий в детали;
- $m_{дет}$ – масса детали;
- $\Gamma_{(Ш□Д)}$ - габаритные размеры детали;
- $N_{г}$ – программа выпуска;
- $n_{инстр}$ – количество применяемых инструментов;
- $n_{Гиб}$ - количество линий гибки;
- h_{max} - максимальная высота полки.

Расчетным путем определяется штучное $t_{шт}$ время обработки детали, отдельно определяется основное t_o время, и подготовительно-заключительное $t_{ПЗ}$ время, а также время $t_{но}$ переналадки оборудования в течение смены.

Время штучное $t_{шт}^{i, \Pi_m, D_k}$ i -го маршрута технологического процесса обработки k -ой детали (D_k) и m -го процесса (Π_m) становятся определяющими факторами при разработке критериального показателя эффективности техпроцесса. Учитывается также для каждого вида оборудования стоимость станко-часа ($C_{с-ч}$) в зависимости от степени износа и фактора морального старения. Важными дополнительными показателями критерия эффективности являются информационная обеспеченность процесса (наличие общей компьютерной системы передачи и обработки данных $I_{сист}$ на предприятии), а также степень управляемости процессом $U_{пр}$ (количество иерархических переходов по вертикали и наличие горизонтальных связей между службами при организации процесса).

Детали, для изготовления которых применяются операции «выдавливание», «вырубка», «вытяжка», «гибка», «зачистка», «клеямение», «надрезка», «обрезка», «отбортовка», «правка», «пробивка», «просечка», «разрезка», «рельефная формовка» и др. должны изготавливаться в штампах последовательного и совмещенного действия на кривошипных или гидравлических прессах.

Тогда обобщенный критериальный показатель $K_{\sum D\text{эф}}^{i, M_q}$ качества и эффективности функционально-ориентированного технологического процесса изготовления деталей из листа имеет вид:

$$K_{\sum D\text{эф}}^{i, M_q} = K_{\text{эф}}^{\Pi_i^{D_i(\text{констр})}} \cup K_{\text{эф}}^{\Pi_i^{D_i(\text{технол})}} \cup K_{\text{эф}}^{I_{\text{сист}}^{D_i}} \cup K_{\text{эф}}^{U_{\text{пр}}^{D_i}} \cup K_{\text{эф}}^{Ш_{\text{проф}}^{D_i}}, \quad (2)$$

- где в правой части выражения (2) представлена конъюнкция показателей частных критериев эффективности по конструктивным, технологическим, информационным и управленческим параметрам соответственно, а также критерий эффективности отдельных операций, выполняемых в штампах на прессах. Индексация для обобщенного показателя критерия эффективности означает, что показатель разработан для i -ой детали из группы и рассматривается для M -го маршрута из множества возможных для реализации. Индексы при членах правой части читаются аналогично.

Алгоритм выбора предпочтительных вариантов функционально-ориентированных технологических воздействий, включенных в установленное множество возможных технологий на данном предприятии, и осуществляемого на основе рекуррентно-итеративного подхода к перебору из установленного множества, приведен на рис. 2.

Обозначения частных критериев оценки эффективности технологических воздействий, приведенных на рис. 1, соответствуют обозначениям критериев, указанных в выражении (2). Интегральное применение всех частных критериев при оценке эффек-

тивности функционально-ориентированных технологических воздействий создания контура деталей и отверстий в листах, формирования различных ребер жесткости и профилирования, а также нанесения покрытий позволяют выбрать оптимальный вариант.

Выбранный по обобщенному критерию вариант технологии обработки детали из листа направляется в производство. В этом варианте технологии учтены экономические, управленческие, информационные и иные требования, предъявляемые к процессам изготовления изделий на существующем производстве.

Проверку эффективности использования оборудования в сложившихся производственных условиях можно осуществить при помощи показателя T загрузки в станко-часах, где общая годовая станкочасовая емкость определяется как:

$$T_{\Sigma}^{ф} = \sum_{i=1}^n (t_{oi} + t_{gi}) \Pi_i + k_{\Pi} t_{\Pi} + k_{O} t_{O}, \quad (3)$$

А годовая расчетная технологическая станкочасовая емкость определяется в виде:

$$T_{\Sigma}^{mexh} = \sum_{i=1}^n (t_{oi} + t_{gi}) \Pi_i, \quad (4)$$

а коэффициент потерь рабочего времени, вызванного переналадкой оборудования в рабочие смены, определяется как:

$$K_{\Pi\Sigma} = \frac{k_{\Pi} t_{\Pi}}{\Phi_{об}}. \quad (5)$$

- где в выражениях (3, 4, 5) T – станкочасовая емкость изготовления продукции предприятия;

- $\Phi_{об}$ – годовой фонд рабочего времени;

- t_o и t_b – основное и вспомогательное время обработки деталей;

- k_{Π} и t_{Π} – коэффициент времени и время на переналадку оборудования под новую деталь.

Исходя из выше изложенного можно предварительно определять, какое оборудование может эффективно использоваться на каких операциях обработки листовых деталей.

Гильотинные ножницы целесообразно применять при изготовлении деталей прямоугольной формы с точность установки заднего упора ножниц $\pm 0,1$ мм. Годовая программа деталей при этом в пределах 15 тыс. шт.

Для операций листовой штамповки, изменяющей формы детали (гибка, формовка с радиусом гибки более толщины листа) целесообразно использовать пресса для свободной гибки. При этом применяют стандартный инструмент одного типоразмера.

Для таких прессов годовая номенклатура не должна превышать 300 наименований для одного пресса, а годовая программа детали – 5 тыс. шт.

Учитывая тот факт, что предприятия, занимающиеся изготовлением изделий преимущественно из листовых материалов, имеют дело с ограниченной номенклатурой листов по маркам материалов и по размерным характеристикам, оборудование для их обработки также имеют ограниченные диапазоны характеристик. Обычно ограничения касаются толщины обрабатываемого листа, а также габаритов листов, устанавливаемых на оборудование для первоначального раскроя.

Вопросы изменения свойств поверхностей для деталей из листовых материалов чаще всего касаются нанесения покрытий с заданными свойствами. Покрытия выпол-

няют защитно-декоративные функции, обеспечивают защиту от агрессивных сред, от внешних воздействий [8], а также способствуют улучшению внешнего вида изделий.

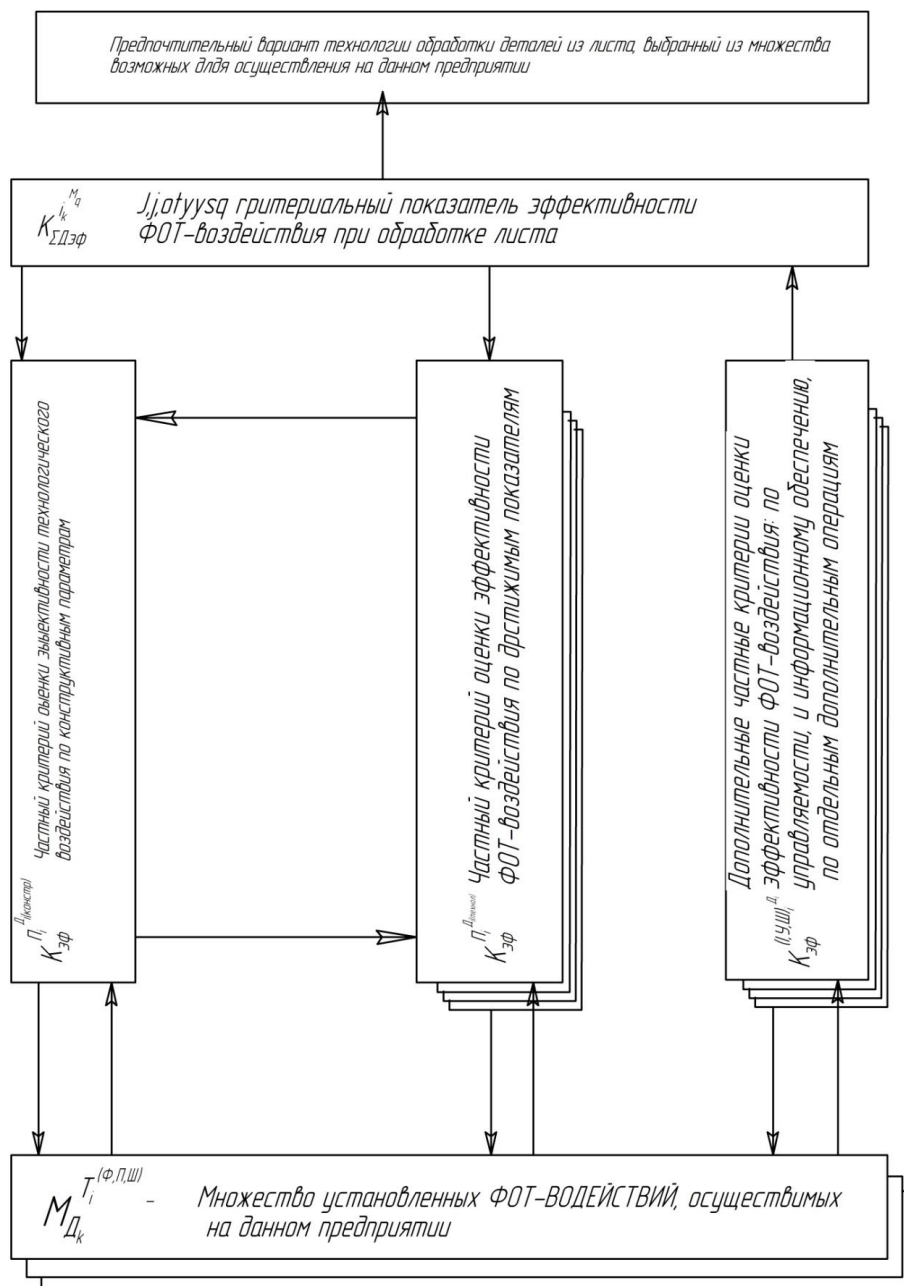


Рисунок 2. Алгоритм выбора предпочтительной технологии обработки деталей из листовых материалов на существующем предприятии

Безальтернативные виды покрытий осуществляются по технологиям, принятым на данном производстве как основные виды покрытий. При необходимости выполнить покрытия с особыми эксплуатационными свойствами, при наличии некоторых вариантов их нанесения, осуществляется выбор из множества на основе рекуррентно-итеративного подхода, аналогичного выбору способов механической обработки.

При работе с материалами неметаллическими - стекло, оргстекло, текстолиты, пластики и т.д. применяются такие же методы выбора предпочтительных способов функционально-ориентированных технологических воздействий, учитывающих спосо-

бы разделения материалов, инструменты, необходимость использования дополнительных жидких или газовых сред с учетом расходных материалов для осуществления процессов. Установление взаимосвязей конструктивных и технологических параметров выполняется по такой же схеме, как и для обработки металлических листовых материалов. Формализация записи результатов, полученных путем рекуррентного выбора оптимальной обработки деталей из неметаллических материалов не отличается от записи результатов обработки деталей из листов металлов.

Заключение

В данной работе установлены взаимосвязи функционально значимых признаков деталей и их элементов из листового материала, в том числе образующих пространственные и объемные формы деталей, их структурных схем функционально-ориентированных технологических воздействий для технического обеспечения.

Решены следующие задачи для достижения цели работы.

1. Установлен порядок относительных движений поверхностей заготовок листов и инструмента в структурных схемах формирования простых и сложных пространственных геометрических образований деталей.

2. Установлено множество обобщенных структурных схем формирования деталей из листовых материалов и принцип их повторяемости при создании сложных пространственных геометрических форм.

3. Установлен порядок отражения взаимосвязей требований к деталям из листов металла и иных листовых материалов и функционально-ориентированными технологическими воздействиями в формализованном виде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Б.М. Базров – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.

2. Основы технологии машиностроения. В 2 т. Т.1. / Бурцев В.М., Васильев А.С., Дальский А. М. и др.; под ред. Дальского А. М. // Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

3. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. / А. Н. Михайлов. – Донецк, ДонНТУ, 2009. – 346 с.

4. Михайлов, А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А.Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – Вып. 3 (70). – С. 22-33.

5. Михайлов, А. Н. Синтез структурных схем функционально-ориентированного технологического воздействия при формообразовании и формировании поверхностных свойств деталей КПП / А.Н. Михайлов, Б.С. Котляров, В.Б. Котляров, С.Б. Котляров. – Донецк: ДонНТУ.

6. Жолобов, А. А. Технология автоматизированного производства: Учебник для ВУЗов / А. А. Жолобов – Изд. Дизайн ПРО. – Мн. 2000. – 624с.– ISBN: 985-452-034-X

7. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебник для вузов по специальности "Технология машиностроения" / Ю. З. Житников, Б. Ю. Житников, А. Г. Схиртладзе и др. ; под общ. ред. Ю. З. Житникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 655с.

8. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней / Г. Г. Улиг, Р. У. Ревы : пер. с англ., под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 455 с.

Поступила в редколлегию 12.02.2022 г.