

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

УДК 658.51:621.81

Л. М. Акулович, Д. Б. Ермашкевич, В. Г. Буйнич

Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет», Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 619 05 04, leo-akulovich@yandex.ru

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА**

Рассмотрена методология сквозного автоматизированного проектирования технологий изготовления деталей машин из металлопроката. Сквозное проектирование основано на интеграции объектно-ориентированных модулей по технологическим переделам. Приведены граничные условия применения в единых технологических процессах операций раскроя листового металлопроката и операций механической обработки. Метод структурного синтеза сквозных технологических процессов использует базу данных рациональных схем обработки конструктивно-технологических элементов. Предложен алгоритм функционирования системы сквозного автоматизированного проектирования технологических процессов.

Ключевые слова: металлопрокат; автоматизация; схемы обработки; проектирование; интеграция; конструктивно-технологический элемент; раскрой листового металлопроката; синтез технологических процессов.

Рис. 7. Библиогр.: 12 назв.

L. M. Akulovich, D. B. Yermashkevich, V. G. Buynich

Belarusian State Agrarian Technical University, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus,
99 Nezavisimosti Ave., 220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 619 05 04,
leo-akulovich@yandex.ru

**AUTOMATED DESIGN OF TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURE
OF PARTS FROM SHEET ROLLED METAL**

The methodology of end-to-end automated design of technologies for manufacturing machine parts from rolled metal is considered. End-to-end automated design is based on the integration of object-oriented modules for technological redistribution. The boundary conditions of application of sheet rolled metal cutting operations and machining operations in unified technological processes are given. The method of structural synthesis of end-to-end technological processes uses a database of rational schemes for processing structural and technological elements. The algorithm of functioning of the system of end-to-end automated design of technological processes is proposed.

Key words: rolled metal; automation; schemes of processing; design; integration; constructive and technological element; cutting of sheet metal rolling; synthesis of technological processes.

Fig. 7. Ref.: 12 titles.

Введение. Рыночная экономика внесла существенные изменения в технологический облик машиностроительных производств Республики Беларусь. Эти изменения выразились в частой сменяемости номенклатуры выпускаемых изделий и необходимости обеспечивать их конкурентоспособность. В результате около 70% продукции машиностроения выпускается на предприятиях с мелко- и среднесерийным характером производства.

Частая сменяемость номенклатуры выпускаемых изделий ограничивает сроки, отводимые на технологическую подготовку производства [1]. Поэтому для изготовления заготовок деталей машин становится экономически выгодным использовать листовой металлопрокат. Например, в сельхоз- и станкостроении, производстве строительных и дорожных машин

его доля в общем объеме заготовок достигает 80%. Как следствие, увеличился спрос на технологии и оборудование для резки листового металлопроката. При этом заготовки деталей машин должны иметь минимальные припуски для последующей механической обработки. В настоящее время в заготовительных производствах появились современные комплексы термической и гидроабразивной резки. Технологические возможности современного оборудования термической резки листового материала значительно расширились, что позволяет во многих случаях производить окончательную обработку отверстий, проемов и сложных контуров деталей с обеспечением заданных чертежом требований точности и шероховатости поверхностей [2]. Например, установки для лазерной и плазменной резки заготовок из листа обеспечивают точность позиционирования по осям $\pm 0,01$ мм, а погрешность вырезаемых контуров — $\pm 0,1$ мм. Высокая точность позиционирования обеспечивает точность взаимного расположения вырезаемых контуров заготовки, адекватную требованиям чертежа детали. Точность и качество получаемых на таком оборудовании поверхностей соизмеримы с аналогичными показателями, обеспечиваемыми механической обработкой. Возможность раскроя сложных контуров деталей из листового материала, высокая производительность резки (до 20 м/мин), малые ширина реза и зона термического влияния (диаметр луча составляет сотые доли миллиметра), отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал позволяют в единых технологических процессах использовать способы термической резки взамен некоторых операций механической обработки.

Однако в машиностроении традиционно сложилось разделение производств по технологическим переделам. Приобретая современное оборудование для резки металлопроката, предприятия совершенствуют только технологию раскроя, а последующие операции остаются без изменения. Поэтому возникла производственная необходимость совмещения в единых технологических процессах операций раскроя и последующей механической обработки. Это позволит пересмотреть припуски на механическую обработку в сторону их уменьшения, экономить металл, снизить трудоемкость изготовления изделий. Уменьшить расход металла можно также за счет максимального использования деловых отходов металлопроката. Таким образом, возникла производственная необходимость совмещения в единых технологических процессах операций раскроя и последующей механической обработки. Это позволит пересмотреть припуски на механическую обработку в сторону их уменьшения, экономить металл, снизить трудоемкость изготовления изделий.

Внедрение конкурентоспособных технологий, обеспечивающих высокое качество и минимальную себестоимость продукции, неизбежно приводит к увеличению удельного веса работ по технологической подготовке производства и, как следствие, к необходимости ее автоматизации с целью уменьшения затрат и снижения сроков освоения новых изделий. В таких производствах для решения задач технологической подготовки наиболее эффективным является компьютеризация проектирования технологических процессов [1; 3—5]. Применяемые в машиностроении системы автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП) характеризуются ориентацией по технологическим переделам и не учитывают возможности новых технологий резки металлопроката. Это приводит к завышенным припускам на механическую обработку, повышенным трудозатратам и перерасходу металла и инструмента. Решение проблемы кроется в разработке сквозных технологических процессов. Все это обуславливает создание САПР ТП сквозных технологических процессов изготовления деталей машин, позволяющих разрабатывать как единые технологические процессы изготовления деталей, так и управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением [2].

Результаты исследований и их обсуждение. Базовой основой проектирования технологий в САПР являются состав технологической информации и методы ее представления. Большинство известных [3; 5—9] САПР ТП осуществляют проектирование в интерактивно-алгоритмическом режиме с большей или меньшей степенью автоматизации проектных

процедур, а для обработки деталей сложной конфигурации (например, корпусных и т. п.) — в диалоговом режиме с незначительной степенью автоматизации. Современные САПР ТП реализуют методы проектирования: автоматический [10], полуавтоматический, интерактивный (диалоговый) и «по аналогу» [5; 6; 8; 9]. Каждый из указанных методов проектирования имеет свои достоинства и недостатки. Например, при разработке технологий изготовления относительно несложных деталей, поддающихся группированию в технологические группы, интерактивный режим не эффективен, а при использовании автоматического режима в большинстве случаев требуется адаптация разработанного технологического процесса к условиям производства.

Известно, что в процессе эксплуатации диалоговых систем на предприятиях накапливаются типовые, групповые, единичные технологии, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей, т. е. постепенно создается произвольная база знаний, адекватная уровню технологической квалификации пользователей. Однако такой подход требует длительного времени адаптации к условиям предприятия, поскольку база знаний создается постепенно, по мере разработки технологических процессов, а также требует высокой квалификации технологов предприятия.

С учетом достигнутого уровня развития САПР ТП концепция сквозного проектирования технологий изготовления деталей из листового металлопроката включает структуру системы, входные и выходные данные, совмещение в едином технологическом процессе операции раскроя заготовок и последующей их механической обработки. Разработанная концепция, являясь основой создания алгоритмов и программ, должна выполнять следующие основные функции:

- рациональную раскладку деталей для последующего раскроя заготовок прямоугольной (на гильотинных ножницах) и произвольной формы (на машинах термической резки);
- сквозное автоматизированное проектирование технологических процессов по схеме: раскладка, раскрой, холодная штамповка, термическая обработка, механическая обработка, лакокрасочные и гальванические покрытия;

- формирование комплекта стандартной технологической документации;

- обмен информацией с другими информационными системами предприятия.

Для реализации этих функций САПР сквозного проектирования технологий должна обеспечить решение следующих основных задач по автоматизации этапов проектирования:

- ведение автоматизированного архива деталей и сборочных единиц;
- ввод информации с электронного чертежа детали, созданного в различных графических системах (AutoCAD, T/FLEX, Компас и др.);

- создание и ведение единой базы данных (БД) технологического назначения, обеспечивающей передачу данных модулям, выполняющим основные функции системы, и обмен информацией с информационными системами предприятий;

- сквозное проектирование технологических процессов (ТП) автоматическим методом с использованием комплексных технологических процессов (КТП) и диалоговым методом, в том числе структурным синтезом с использованием конструктивно-технологических элементов (КТЭ);

- проектирование карт раскроя с расчетом их показателей эффективности;

- проектирование управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ;

- формирование комплектов стандартной технологической документации.

Программные модули по запросу выбирают состав изделия, характеристики узлов и деталей из архива изделий интегрированной системы. Далее для разработки документации по технологическим переделам используются условно-постоянные параметры единой БД технологического назначения, с возможностью их дополнения и (или) редактирования. Результаты работы модулей передаются в архив технологических процессов интегрированной системы. Архивы интегрированной системы содержат информацию о результатах работы модулей.

Структурная схема такой интегрированной САПР ТП изготовления деталей из металлопроката приведена на рисунке 1.



Рисунок 1. — Фрагмент структурной схемы интегрированной системы



Рисунок 2. — Структура входных и выходных данных интегрированной системы

При функционировании интегрированной САПР ТП изготовления деталей из металлопроката используются входные и выходные данные (рисунок 2). Входные данные системы делятся на условно-постоянные и переменные.

Выходными данными системы являются:

- технологические процессы механической обработки, холодной штамповки, лакокрасочных и гальванических покрытий, термической обработки деталей с выходными документами;
- технологические процессы раскроя деталей из металлопроката.

Технологические процессы хранятся в системе в структурированном виде, на их базе формируется выходная документация.

Для определения граничных условий назначения в технологические процессы изготовления деталей машин из металлопроката операций термической резки были проведены экспериментальные исследования по влиянию современных способов термической резки металлопроката на точность и шероховатость поверхностей заготовок. Эксперименты проводились по программе центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка. Из листового металлопроката различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров, на которых измеряли диаметральный размер и параметр Ra шероховатости поверхности реза. Варьируемые факторы: толщина листа S , мм, и радиус реза R , мм. По фактической величине диаметров вычисляли отклонения от номинальных размеров (мм), после чего определяли качества точности. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методами математической статистики с использованием табличного процессора MS-Excel 2010, и установлены уравнения регрессии второго порядка в виде

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2.$$

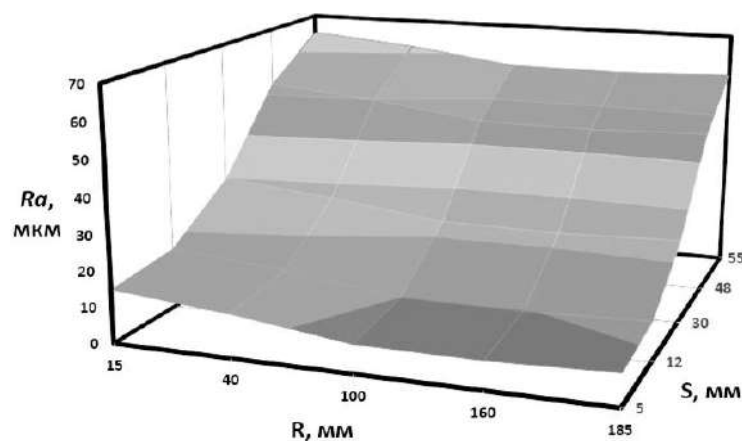


Рисунок 3. — Влияние толщины листа S и радиуса реза R на величину параметра Ra шероховатости поверхности реза при плазменной резке

В результате исследований получены математико-статистические модели зависимостей от варьируемых факторов величин отклонений от номинальных размеров и параметров шероховатости Ra поверхностей, полученных плазменной и лазерной резкой. Приведем пример графической зависимости влияния толщины листа S и радиуса реза R на величину параметра Ra шероховатости поверхности реза при плазменной резке (рисунок 3).

Все полученные модели оценивались на адекватность по критерию Фишера и являются адекватными при 5%-м уровне значимости.

При лазерной резке на точность размеров и шероховатость поверхностей оказывают влияние как толщина листа металлопроката, так и радиус реза. Экспериментально установлено, что плазменной резкой можно обрабатывать поверхности по 10...14-му качеству точности (ГОСТ 25346-89) с шероховатостью Ra 8,0...63,0 мкм, а лазерной резкой — по 10...12-му качеству точности с шероховатостью Ra 2,5...10,0 мкм. По результатам экспериментальных исследований сформулированы основные условия выбора операций резки в технологии обработки конструктивно-технологических элементов изделия. Для плазменной резки: $S \leq 55$ мм, качество не точнее 14-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 16,0$ мкм (при $S \leq 12$ мм), $D1 \geq (0,9..1,4)S$ (при обработке цилиндрических поверхностей), $D3 \geq (0,9..1,4)S$ при условии $D3 \geq 3$ мм (при обработке конических поверхностей). Для лазерной резки: $S \leq 25$ мм, качество не точнее 12-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 10,0$ мкм, $D1 \geq (0,3..0,4)S$ (при обработке цилиндрических поверхностей), $D3 \geq (0,3..0,4)S$ (при обработке конических поверхностей). Для гидроабразивной резки: $8 \text{ мм} \leq S \leq 100$ мм, качество не точнее 12-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 4,0$ мкм, $D1 \geq 2$ мм (при обработке цилиндрических поверхностей). Принятые обозначения: S — толщина обрабатываемой поверхности, мм; $D1$ — диаметр обрабатываемого сквозного цилиндрического отверстия, мм; $D3$ — меньший диаметр обрабатываемого сквозного конического отверстия, мм.

На основании результатов экспериментальных исследований, а также анализа поверхностей деталей-представителей, изготавливаемых из металлопроката, разработана библиотека КТЭ, содержащая 45 КТЭ различных типов (поверхности, отверстия, пазы, окна, канавки и др.) со схемами их обработки, включая операции лазерной и плазменной резки, а также с условиями выбора оптимальных схем обработки КТЭ в зависимости от требуемой точности. Фрагмент библиотеки КТЭ приведен на рисунке 4.

Поскольку КТЭ являются обобщением повторяющихся элементов деталей, у которых могут быть изменены размеры (при этом не изменяется соотношение между размерами) или технологические характеристики, то они по определению являются параметризованными элементами. Параметры КТЭ разделены на два вида: геометрические (длина, ширина, диаметр и т. п.) и технологические (точность обработки и шероховатость поверхности).

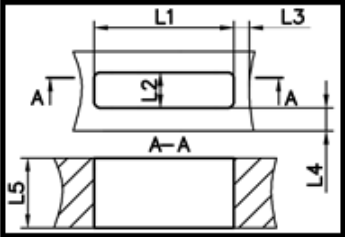
Эскиз КТЭ	Условия выбора схемы обработки поверхностей КТЭ	Схемы обработки поверхностей КТЭ
<p>КТЭ - окно в сплошном материале на плоской поверхности</p> 	<p>Шероховатость $Ra \geq 3,2$ мкм Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - гидроабразивная резка
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 4,0$ мкм $8 \text{ мм} \leq L5 \leq 100 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 10,0$ мкм $L5 \leq 25 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - лазерная (или гидроабразивная при $L5 \geq 8 \text{ мм}$) резка
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 16,0$ мкм $25 \text{ мм} < L5 \leq 55 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 14-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - плазменная резка

Рисунок 4. — Фрагмент библиотеки КТЭ

Библиотека КТЭ использована при разработке программного обеспечения БД. Разработанная база данных КТЭ позволяет интегрировать подпрограммы конструкторско-технологической модели в программное обеспечение создаваемой системы и обеспечить формирование технологических процессов методом синтеза операций.

Учитывая недостатки «диалоговых» систем, в основу функционирования САПР технологии изготовления деталей из металлопроката нами положен автоматический метод. В основе его — формализованные комплексные технологические процессы (КТП), содержащие операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения. Комплексный технологический процесс представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с примерно общими конструктивными и технологическими признаками.

Являясь базой знаний, аккумулирующей опыт предприятий и теорию технологии машиностроения, КТП могут создаваться заново на оригинальные группы деталей и адаптироваться к конкретным условиям предприятия. Адаптация этой системы заключается в настройке БД и технологических алгоритмов к условиям конкретного предприятия. Технологические процессы, полученные в автоматическом режиме, могут корректироваться в полуавтоматическом режиме с дальнейшим переходом в автоматический режим. Для деталей сложной конфигурации используется диалоговый режим или проектирование по аналогу.

Каждый КТП в структуре САПР ТП механической обработки представлен в виде массивов: управляющий массив (УМ); комплексная операция (КО); содержание операции (СО).

Структура управляющего массива (УМ) используется для определения состава технологического процесса в виде упорядоченного перечня комплексных операций.

В УМ перечислены все возможные комплексные операции, которые могут встречаться при обработке деталей определенной группы с логическими условиями их назначения. В результате анализа логических условий выбираются комплексные операции, из которых формируется состав проектируемого технологического процесса.

Комплексная операция (КО) представляет собой массив, имя которого получено из обрабатываемого управляющего массива. В КО описывается перечень входящих операций, на каждую операцию задается перечень моделей оборудования и, в случае необходимости, условия, при выполнении которых будут назначаться операции и модели оборудования.

Массивы КО могут входить как в один, так и в несколько УМ, что дает возможность не дублировать, а использовать один и тот же массив КО в разных УМ.

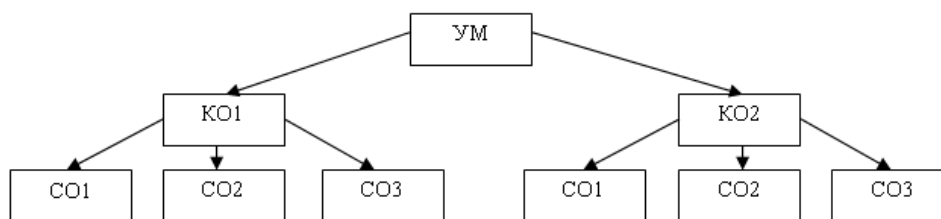


Рисунок 5. — Типовая структура КТП

Содержание операции представляет собой массив, имя которого получено из записи СО массива комплексной операции. В содержании операции задается перечень переходов, которые входят в данную операцию с условиями их назначения. Это могут быть технологические, вспомогательные, контрольные и ненормируемые переходы (рисунок 5).

Конструкторско-технологическую модель любой детали можно представить как совокупность входящих в нее КТЭ. Для каждого КТЭ должны быть определены геометрические параметры, варианты технологии его обработки, а также условия выбора требуемого варианта. На основании фактических значений геометрических параметров для каждого КТЭ происходит выбор из базы данных требуемого варианта технологии его обработки. Технологический процесс изготовления детали синтезируется из выбранных вариантов технологии обработки всех входящих в эту деталь КТЭ.

Разновидностью этого метода является структурный синтез технологического процесса с использованием КТЭ. Формирование технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза происходит путем совмещения выбранных вариантов обработки всех КТЭ детали. Каждую деталь можно представить в виде совокупности ее КТЭ (см. рисунок 2). Соответственно, конструкторско-технологическая модель детали — это совокупность входящих в нее КТЭ. Для каждого КТЭ должны быть определены геометрические параметры, варианты технологии обработки, а также условия выбора требуемого варианта технологии обработки. На основании фактических значений геометрических параметров для каждого КТЭ происходит выбор требуемого варианта технологии его обработки. Технологический процесс изготовления детали синтезируется из выбранных вариантов технологии обработки всех входящих в эту деталь КТЭ (рисунок 6).

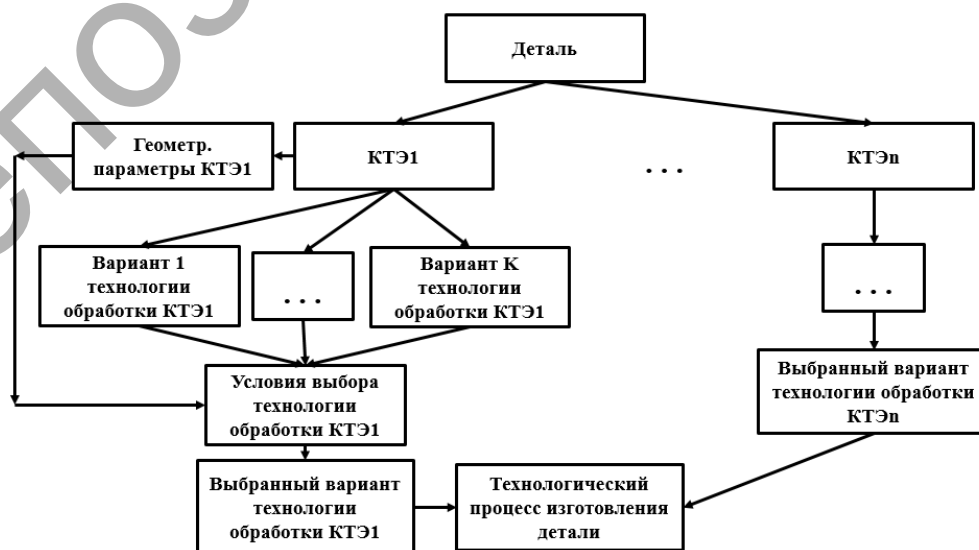


Рисунок 6. — Схема формирования технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза

Такой подход дает возможность после адаптации к условиям предприятия сразу проектировать технологические процессы изготовления деталей без длительного накопления данных, создать технологию обработки, качество которой определяется не квалификацией технолога, а степенью отлаженности алгоритмов, внесенных в базу знаний.

С другой стороны, этот подход не исключает вмешательства технолога в процесс проектирования на любом этапе. Каждый технолог может сформировать и заложить в систему те технологические решения, которые для него актуальны, а система будет использовать эти решения в процессе автоматического проектирования технологии, ориентируясь на входные данные — информацию чертежа конкретной детали и нормативно-справочные данные конкретного предприятия (оборудование, оснастка и т. д.). Задача технолога состоит в том, чтобы использовать готовые многовариантные алгоритмизированные технологические модули, содержащие конкретные технологические решения и условия, обеспечивающие их выбор в автоматическом режиме.

Совместно с автоматическим режимом работы в САПР ТП могут использоваться также и другие режимы:

- полуавтоматический, позволяющий редактировать технологический процесс, сформированный в автоматическом режиме (на уровне оборудования, операций и переходов);

- интерактивный, построенный на проектировании технологического процесса посредством диалога пользователя с САПР ТП. Технолог, взаимодействуя с базой данных системы через интерфейс, в диалоговых окнах формирует маршрут обработки, оснащает и нормирует технологический процесс, задает его параметры. Интерактивные (диалоговые) САПР ТП универсальны, позволяют проектировать технологические процессы на детали любого типа. Однако процесс проектирования является более трудоемким по сравнению с автоматическим методом проектирования;

- «по аналогу», основанный на заимствовании уже готовых технологических решений из технологического процесса изготовления детали-аналога с подобными конструктивно-технологическими признаками. При использовании этого метода нет необходимости вносить исходные данные и проектировать новый технологический процесс «с нуля», поэтому трудоемкость проектирования минимальная при условии наличия соответствующей детали-аналога.

Предложенная концепция автоматизации сквозного проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката учитывает технологические возможности современного оборудования, базируется на интеграцию систем САПР «Раскрой», САПР ТП механической обработки и САПР управляющих программ и включает систематизацию входных данных, использование комплексных технологических процессов и их формализацию, создание единой базы данных. Представим блок-схему алгоритма функционирования интегрированной САПР ТП раскроя листового металла и механической обработки заготовок, ориентированной на проектирование технологических процессов в автоматическом режиме (рисунок 7).

Программные модули по запросу выбирают состав изделия, характеристики узлов и деталей из архива изделий интегрированной системы. Далее для разработки документации по технологическим переделам используются условно-постоянные параметры базы данных, с возможностью их дополнения и(или) редактирования. Результаты работы модулей передаются в архив технологических процессов автоматизированной системы [11].

Архивы интегрированной системы содержат информацию о результатах работы модулей: 1) структура изделий; 2) характеристики изделий, узлов, деталей; 3) расход материалов на изделия; 4) технологические процессы изготовления изделий, узлов и деталей.

Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов предприятия, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов. В качестве основы для создания совмещенной интегрированной системы использованы также некоторые известные и прошедшие проверку практикой технологические решения по автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства.

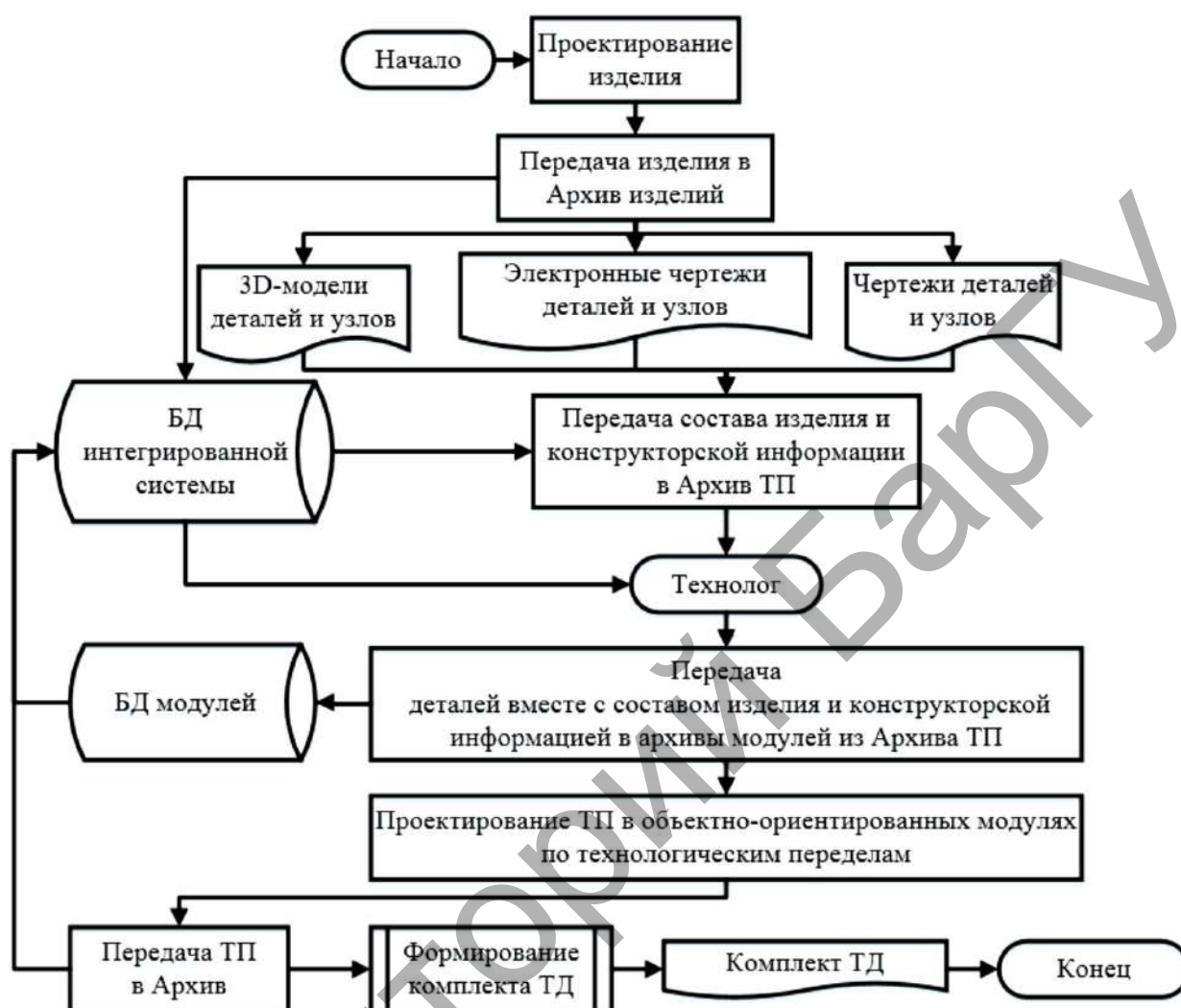


Рисунок 7. — Блок-схема алгоритма функционирования интегрированной системы

Внедрение САПР сквозного проектирования технологий изготовления деталей из металлопроката в производство ОАО «Минский Агросервис» обеспечило экономию металлопроката до 10% за счет снижения припусков на обработку и сокращение сроков подготовки производства на 20—25% [12].

Заключение. Технологические возможности современного оборудования для раскроя листового металлопроката значительно расширились, что позволяет во многих случаях производить обработку отверстий, окон, контуров деталей окончательно с обеспечением заданных чертежом требований точности и шероховатости поверхностей. Возможность раскроя сложных контуров деталей из листового материала с обеспечением необходимой точности взаимного расположения вырезаемых контуров заготовки явились посылкой использования способов резки листового металлопроката совместно с операциями механической обработки в единых технологических процессах.

Концепция сквозного автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката базируется на интеграцию объектно-ориентированных модулей и совмещение операций по различным технологическим переделам. На основе экспериментальных исследований разработаны математико-статистические

модели параметров точности и шероховатости поверхностей заготовок при плазменной и лазерной резке листового металла, что позволило установить границы возможного совмещения в едином технологическом процессе операций резки металлопроката и механической обработки поверхностей деталей. Проектирование технологических процессов основывается на методе синтеза. Для этого конструкция детали разбивается на множество конструктивно-технологических элементов (КТЭ). Разработаны алгоритмы функционирования системы сквозного автоматизированного проектирования. Внедрение САПР ТП обеспечивает экономию металлопроката за счет снижения припусков на обработку и позволяет уменьшить сроки подготовки производства.

Список цитируемых источников

1. Акулович, Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. — Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2012. — 488 с.
2. Таваева, А. Ф. Автоматизация проектирования раскроя листового материала и подготовка управляющей программы для машин с ЧПУ в САПР «СИРИУС» / А. Ф. Таваева, А. А. Петунин ; под ред. Д. В. Куренкова. — Екатеринбург : УрФУ им. Б. Н. Ельцина, 2015. — 28 с.
3. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / Н. Н. Попок [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. — 2011. — № 11. — С. 2—11.
4. Куликов, Д. Д. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства. Системы проектирования технологических процессов / Д. Д. Куликов, Е. И. Яблочников, В. С. Бабанин. — СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. — 136 с.
5. Проектирование технологического процесса механической обработки в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ / ФГОУВПО «Сибирский федеральный университет» ; Хакас. техн. ин-т. — Абакан, 2010. — 49 с.
6. Жолобов, А. А. Технология автоматизированного производства / А. А. Жолобов. — Минск : ДизайнПРО, 2000. — 623 с.
7. Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю. М. Соломенцева. — М. : Высш. шк., 1999. — 312 с.
8. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин [и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. — М. : Высш. шк., 2004. — 415 с.
9. Аверченков, В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов / В. И. Аверченков, Ю. М. Казаков. — Брянск : БГТУ, 2004. — 228 с.
10. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. — Минск : ОАО «Институт Белорганкинпром», 2005. — 135 с.
11. Функциональная структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов для машиностроительных предприятий / А. Г. Гривачевский [и др.] // Проблемы создания информационных технологий : сб. науч. тр. / под ред. Г. Г. Маньшина. — М. : Техполиграфцентр, 2014. — Вып. 25. — С. 39—44.
12. Акулович, Л. М. Автоматизация раскроя заготовок деталей из профильного металлопроката / Л. М. Акулович, Д. Б. Ермашкевич // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2017. — № 1. — С. 76—84.

Поступила в редакцию 15.03.2018