

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.П. Худяков, С.А. Русановский (Северодвинск)

Введение

Анализ применяемых сегодня технологий механической обработки корпусных конструкций крупногабаритных изделий океанотехники показывает принципиальную невозможность их адаптации под условия «цифрового» производства. В частности, отсутствует методическая база формализованного описания как объектов производства, так и средств технологического оснащения для их изготовления. Это препятствует комплексной автоматизации технологических процессов и их эффективному управлению с помощью современных информационных технологий.

В указанном аспекте представляется актуальным создание методики проектирования технологических комплексов, основанной на единой математической модели описания объекта производства, процесса и средств его обработки.

В настоящее время активно развивается направление создания как специализированных, так и универсальных нестационарных (мобильных) технологических комплексов для механической обработки крупногабаритных корпусных конструкций объектов океанотехники (рис. 1). Зачастую они используются (или апробируются в ОКР) и для сопряженных видов технологических операций – разметки, зачистки, сварки, наплавки, термообработки, маркировки, монтажа, и т. п.

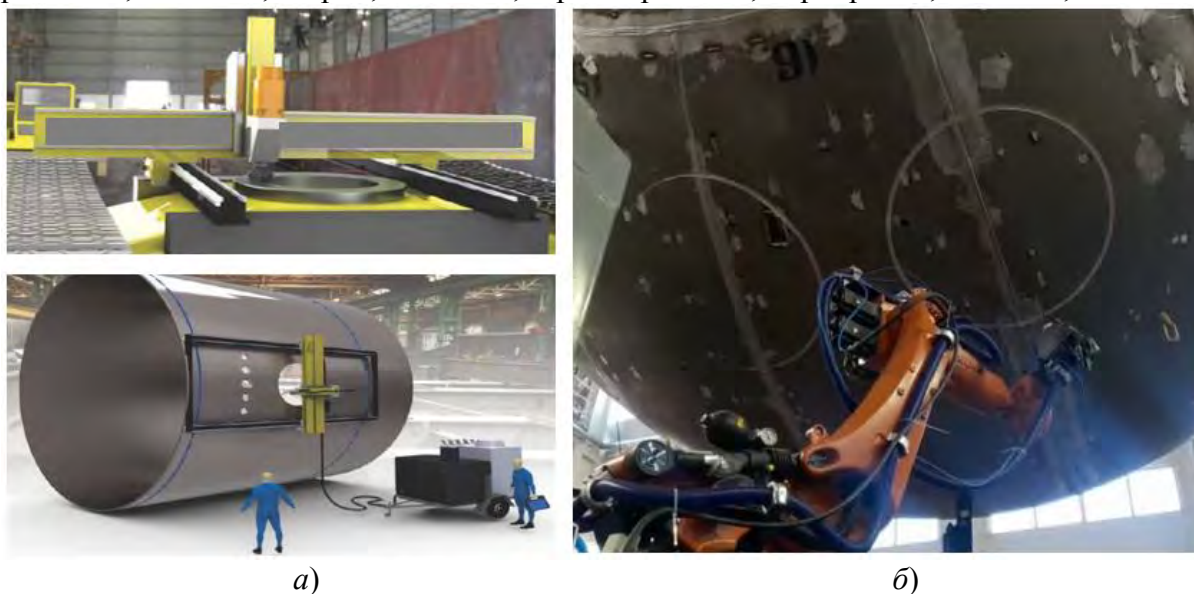


Рисунок 1 – Нестационарные (мобильные) технологические комплексы:
а) специализированный; б) универсальный

Таким образом, можно говорить о потребности и потенциальной осуществимости комплексных технических решений по созданию программно-управляемых технологических комплексов, способных эффективно встраиваться в современное «цифровое» производство.

Одной из ряда проблем на пути создания и применения нестационарных технологических комплексов в составе «цифровых» технологических систем, являются

действующие (регламентированные действующими нормативными документами) способы задания геометрии подлежащих обработке поверхностей. Это касается, например, геометрии разделок кромок вырезов (отверстий) под сварку насыщения в прочные корпуса глубоководных аппаратов (рис. 2).

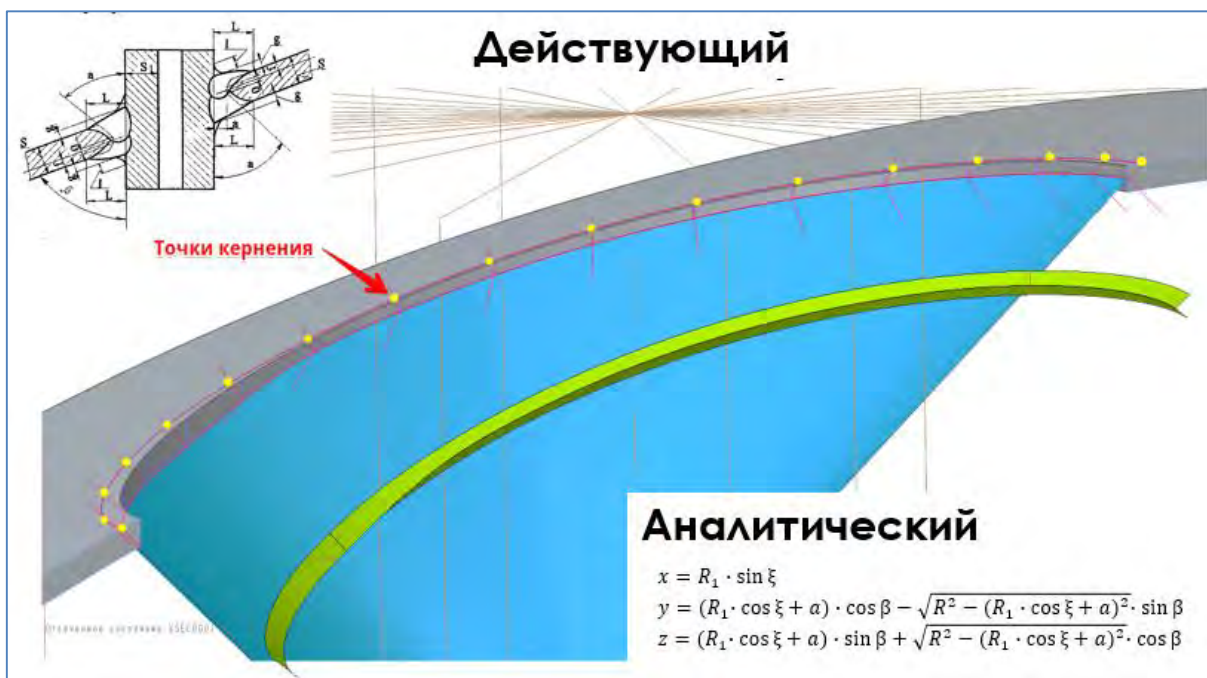


Рисунок 2 – Способы задания геометрии разделок

Эскизно-табличное задание геометрии разделки по сечениям при использовании его в автоматизированной обработке на оборудовании с ЧПУ вынуждает применять различные ручные или компьютерные средства доопределения геометрии. Отсутствие детально определенной методики геометрического или аналитического описания такой геометрии приводит к дополнительным погрешностям ее аппроксимации. Ручное формирование разделки при этом вносит значительный субъективизм в процесс достижения требуемого качества, контроль, и затрудняет прослеживаемость и управляемость процесса обработки.

Методы и Материалы

Предлагаемая методика проектирования технологических комплексов основана на едином формальном описании объекта производства (изделия), процесса обработки (формообразования и удаления припуска), средств технологического оснащения (инструмента, оборудования, оснастки), и системы управления комплексом. Математическая основа методики – аппарат однородных координат. Форма представления методики – стандартная методология функционального моделирования IDEF0.

На рисунке 3 представлена главная (начальная) форма A0 диаграммы IDEF0, включающая информационные блоки, соответствующие изделию и элементам технологического комплекса, входящим в функциональную модель.

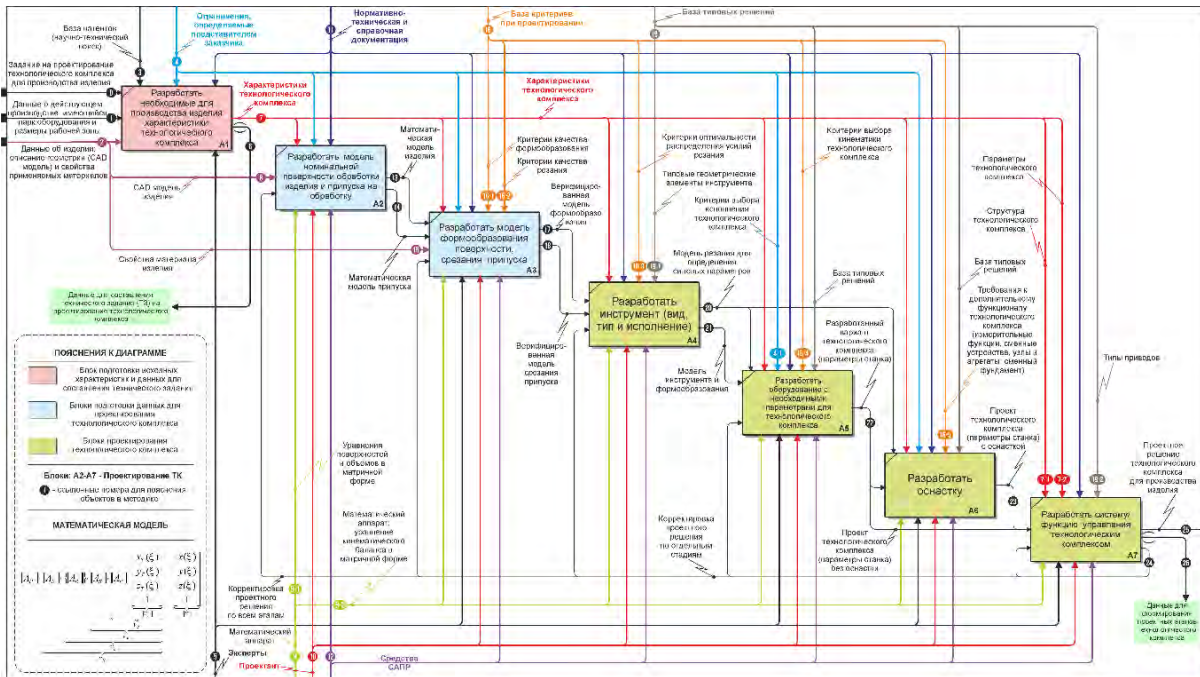


Рисунок 3 – Функциональная IDEF0-модель процесса проектирования технологического комплекса

Функциональная модель имеет матричный вид, модульный характер, и объединяет математическую модель объекта производства ([V]) с математической моделью технологического комплекса ([VH]) посредством функций преобразования координат ([Ai]). Благодаря унифицированной и открытой структуре модели, в нее могут быть включены дополнительные (уточняющие) элементы, например систему управления, простым домножением. Единственное требование при этом – унифицированное с представленным описанием (матричное в однородных координатах).

С учетом того, что, к примеру, робототехнические средства моделируются и управляются именно на базе такого описания, это удобно и практично. Основная сложность возникает с исходным описанием геометрии самого объекта производства. Оно требует корректной идентификации и формализации геометрии.

При наличии верифицированной компьютерной модели объекта производства проблем с ее использованием обычно не возникает, хотя определенные методические вопросы всё равно требуют решения.

Результаты

На рисунке 4 представлен фрагмент объекта производства – сферической оболочки с отверстием, в котором выполняется разделка под сварку насыщения. Ему соответствует блок A2 диаграммы IDEF0 методики.

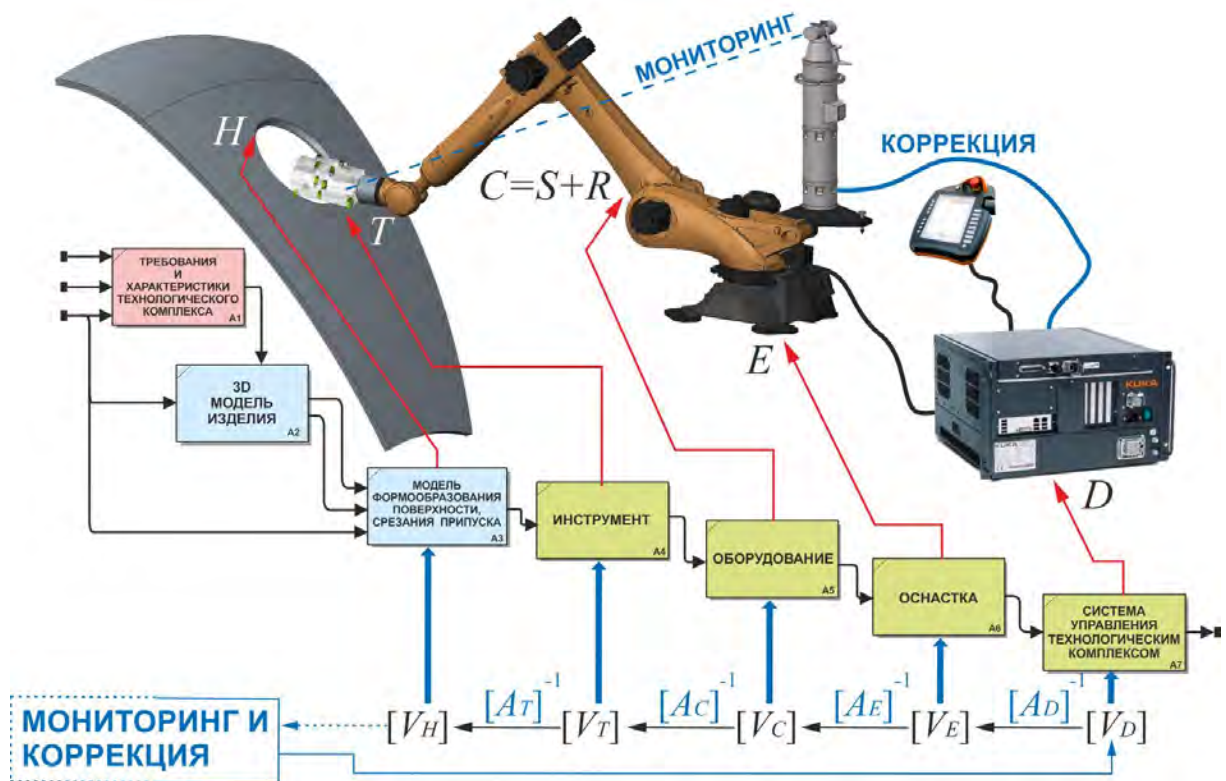


Рисунок 4 – Объект производства и технологический комплекс для его обработки

На вход и в управление в блок A2 поступает информация из нормативных документов. В блоке A2 выполняется идентификация и преобразование входной информации в стандартный вид. Далее информация последовательно преобразуется и передается в блоки проектирования процесса обработки (блок A3), инструмента (блок A4), оборудования (блок A5), оснастки (блок A6), системы управления (блок A7). В исследовании оценивались варианты технологического комплекса как без, так и с применением обратной связи по управлению на основе мониторинга и коррекции текущего положения рабочего органа комплекса. На выход модели поступают данные для разработки эскизной проектной документации.

На рисунке 5 изображена координатная взаимосвязь элементов модели. Показано, что модульный характер модели позволяет использовать типовые элементы со своей сложной структурой, представлены в виде обобщенной передаточной функции. Это касается, например, инструмента – цилиндрической фрезы, который в математической модели отображается как функция формообразования в терминах производящей линии. Таким образом, применение, как вариант, инструмента другого типа, например, торцовой фрезы, потребует лишь замены матрицы описания ее производящей линии. Аналогично, если рассматривать вариант применения вместо универсального робота специализированного станка (в том числе – параллельной структуры), требуется лишь замена соответствующей матрицы в модели. Важно отметить, что и в отношении передаточных функций справедлива аналогичная процедура. Например, иногда в процессе обработки требуется перемещение оборудования в силу ограниченности рабочей зоны. На практике для этого выполняют «перепривязку» его системы координат с помощью измерительных средств (мишеней и трекера, либо тахеометра). В модели соответственно это потребует лишь изменения значений координат, связанных с оборудованием, то есть матрицы $[A_C]$.

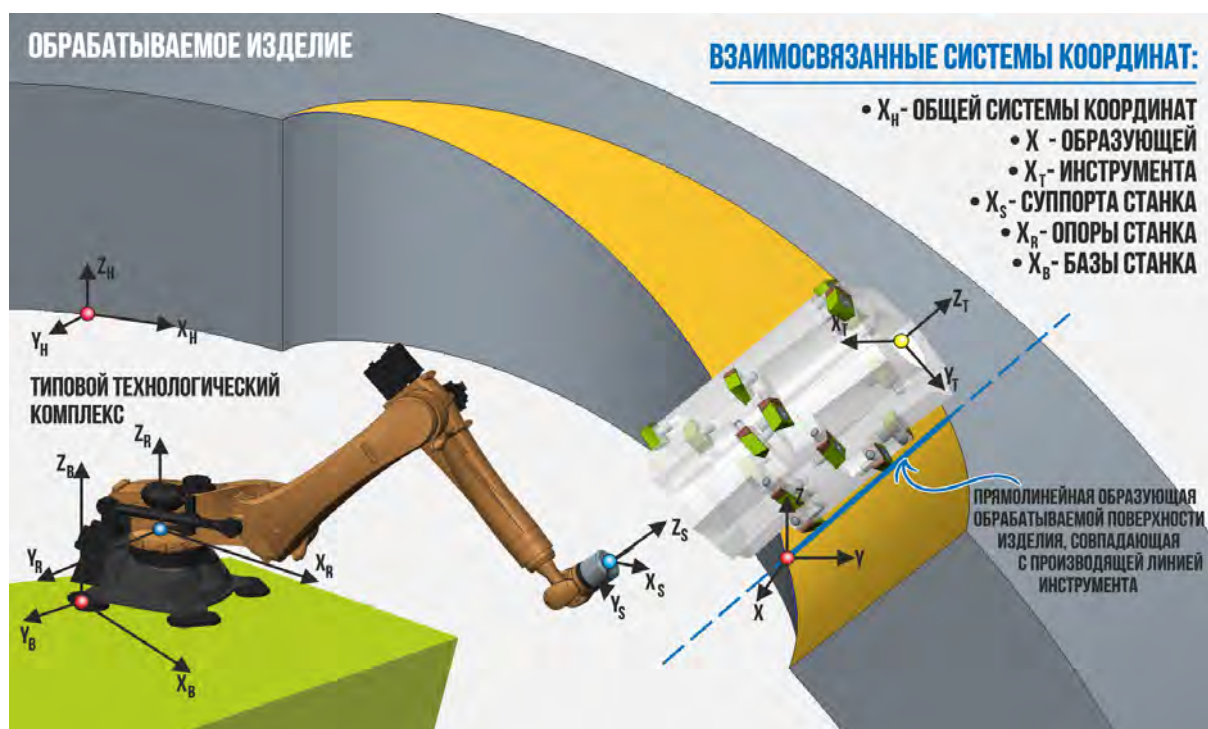


Рисунок 5 – Система координат изделия и технологического комплекса

Для иллюстрации перехода от формирования модели технологического комплекса к процессу проектирования его отдельных элементов рассмотрим декомпозицию модели формообразования и срезания припуска. При осуществлении иных видов технологического воздействия на объект производства также требуется декомпозиция соответствующего процесса, по крайней мере, в терминах формообразования, а, если необходимо, и в терминах удаления или добавления материала, изменения поверхностных свойств, и т. п. В данном исследовании эти задачи не рассматривались.

На рисунке 6 представлено аналитическое представление функции формообразования для цилиндрического фрезерования, справедливое для метода касания. Аналогичные функции известны и для методов копирования, следа, огибания.

Так как в процессе идентификации формы разделки был определен ее геометрический вид – линейчатая (дважды косо́й цилиндроид), удалось существенно упростить описание функции формообразования, сведя к параметризованной линии 3D контура. Косвенный результат такого упрощения – возможность ограничиться при пространственной обработке 4-мя одновременно управляемыми координатами. Это значительно упрощает конструкцию проектируемого оборудования и системы управления им. Таким образом, еще на этапе идентификации геометрии, и далее – на этапе формализации функций формообразования закладывается потенциал оптимизации конструктивно-технологических решений проектируемого комплекса.

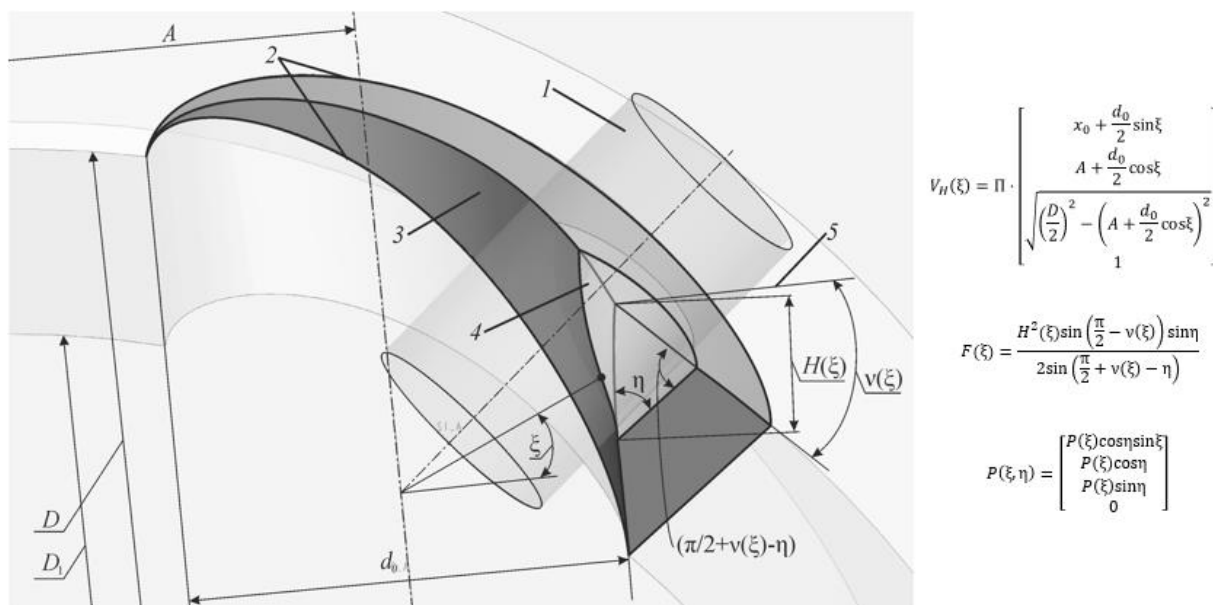


Рисунок 6 – Функция формообразования:

- 1 – инструмент в виде производящей поверхности,
- 2 – граничные кромки подлежащего удалению припуска
- 3, 4 – мгновенная поверхность формообразования.

На основе декомпозиции формообразования и процесса удаления припуска на том же (втором) уровне моделирования декомпозируется проектирование специального инструмента, если это необходимо. После выбора схемы резания (блок А41) – профильной, генераторной, или прогрессивной – определяем геометрию режущей части. Далее определяем компоновку режущих элементов на производящей поверхности инструмента. Окончательно формируется конструктивное исполнение – функциональные, вспомогательные, крепежные, присоединительные и т. п. элементы. Если необходимости в проектировании специального инструмента нет, достаточно в его модельное описание подставить значения параметров. Однако, с учетом пониженной жесткости нестационарного оборудования по сравнению со стационарным, проектирование и использование в составе комплекса специального инструмента желательно, а зачастую и необходимо. Это позволяет наиболее оптимально распределить и снизить усилия резания, а, следовательно, деформации технологического комплекса. То есть реализуется принцип комплексного управления проектными решениями на базе единой модели.

На рисунке 7 представлено аналитическое параметрическое описание процесса удаления припуска с поверхности разделки по генераторной схеме, обеспечивающей минимизацию сил резания ($P_{max i}$) при выбранной схеме формообразования (касания). Параметризация описания позволяет на последующих этапах проектирования прорабатывать варианты конструктивного исполнения – диаметр фрезы; число, шаг, расположение и ориентацию режущих элементов. При наработке типовых 3D моделей инструмента параметризованная модель может быть использована для автоматизированной передачи значений параметров в CAD/CAM для изготовления инструмента.

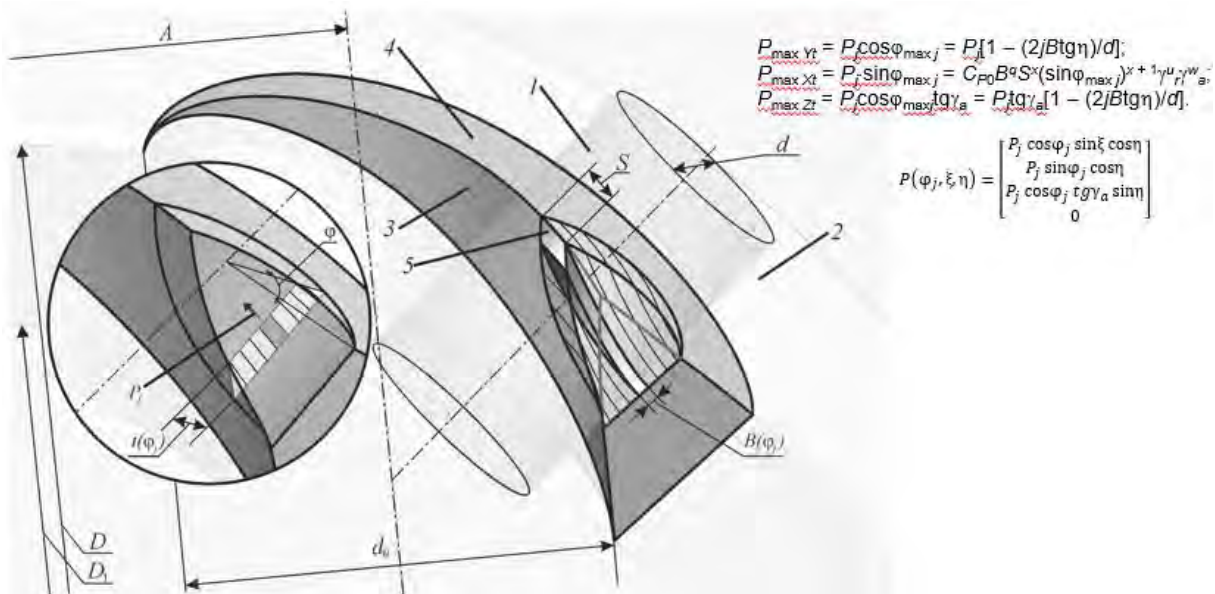


Рисунок 7 – Функция резания (удаления припуска)

В качестве примера реализации проектной процедуры по результатам моделирования представлены узел режущего элемента, компоновка и 3D модель специальной цилиндрической фрезы, оптимизированной для рассмотренной выше обработки разделки (рис. 8).

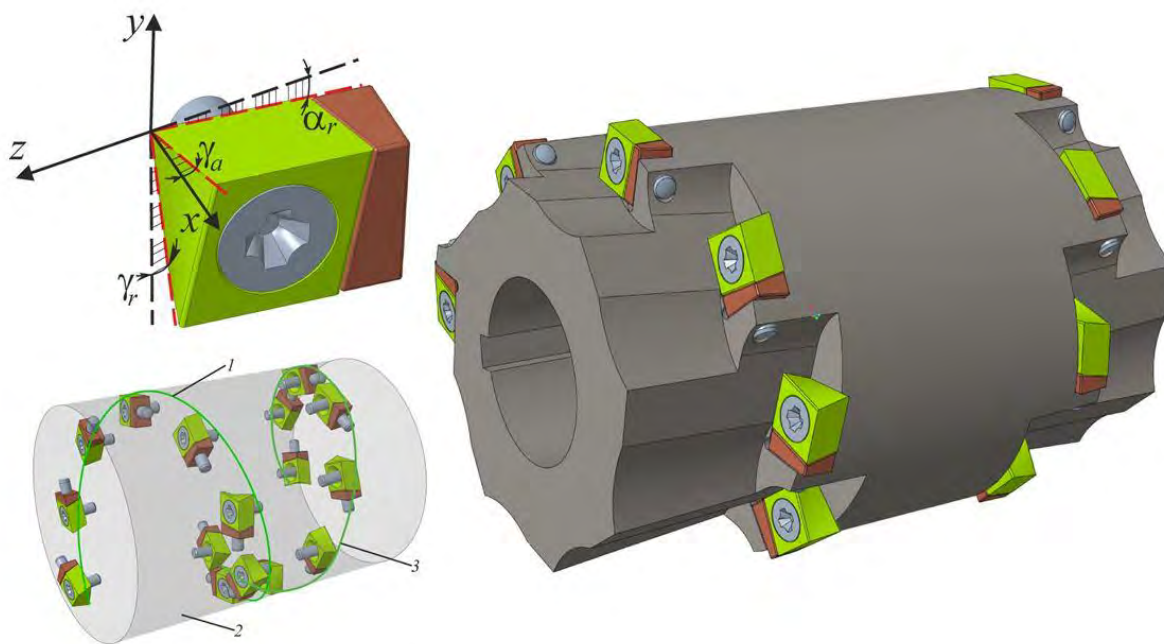


Рисунок 8 – Специальная фреза

На рисунке 8 показано ступенчато-симметричное с переменным шагом расположение режущих элементов, способствующим снижению и уравниванию усилий резания, а также снижению вибраций, что критически важно при использовании нестационарных комплексов механической обработки корпусных конструкций.

Заключение

Основные результаты работы:

- разработана методика проектирования нестационарных (мобильных) технологических комплексов на базе единой функциональной модели, объединяющей объект производства, процесс и технические средства его обработки;
- выполнены декомпозиция и переход от функциональной модели к математическому описанию процесса обработки и инструмента, как одного из элементов технологического комплекса;
- в настоящее время на основе предлагаемой методики выполняется разработка специализированного нестационарного технологического комплекса механической обработки корпусных конструкций на базе механизмов параллельной кинематики.

Литература

- 1 **Русановский С.А., Худяков М.П.** Проектирование технологических комплексов. Часть 1. Разработка методики проектирования/ С. А. Русановский, М. П. Худяков // Вестник машиностроения. 2020. № 7. С. 31-35. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-7-31-35.
- 2 **Русановский С.А., Худяков М.П.** Проектирование технологических комплексов. Часть 2. Применение методики для нестационарных технологических комплексов/ С. А. Русановский, М. П. Худяков // Вестник машиностроения. 2020. № 8. С. 26-29. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-8-26-29.
- 3 **Русановский С.А., Худяков М.П.** Проектирование технологических комплексов. Часть 3. Проектирование инструмента/ С. А. Русановский, М. П. Худяков // Вестник машиностроения. 2020. № 10. С. 21-23. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-10-21-23.