УДК 621.73.043:004.92

Выбор положения плоскости разъема штампов на основе геометрического и конечно-элементного моделирования

Преображенский Е.В.

Московский авиационный институт (НИУ),

г. Москва, Российская Федерация

Маркелов Е.Е.

АО "НПО Лавочкина",

г. Химки, Российская Федерация

Одной из важных задач при разработке технологических процессов горячей объемной штамповки является выбор плоскости разъема, т.е. границы, по которой разделяются нижняя и верхняя половины штампа. Её положение в конечном счете определяет себестоимость, качество поковки и временные затраты на её получение [1]. Линия разъема влияет не только на геометрию получаемой детали, но и на легкость её извлечения из оснастки, на равномерность течения металла в ходе деформации, на штамповочные уклоны и коэффициент использования материала. Более того, свойства поковки и её структура в районе выхода металла в область облоя, во многом зависят от корректности выбора местоположения разъема штампа. Поэтому актуальна задача автоматизации этого процесса.

Инженеры-технологи при проектировании оснастки обычно используют встроенные функции имеющихся на предприятиях CAD-систем. Например, в SolidWorks есть специальные команды в группе инструментов литейных форм, которые позволяют разделить общую форму на две половины. Однако их применение подразумевает, что оператор заранее указал положение линии разъема. Это требует высокой квалификации и большого опыта инженера. Кроме того, такой подход имеет некоторые недостатки, включая невозможность быстрого анализа альтернативных мест для плоскости разъема

и точного определения их влияния на течение металла во время деформации и на риск образования дефектов поковки. Следовательно, в соответствии с современными представлениями о цифровом производстве целью работы являлось создание программного кода для автоматизации выбора положения разъема штампов.

В качестве основного инструмента исследования использовали среду разработки приложений VBA в SolidWorks. В основе метода лежал алгоритм заметающей прямой [2]. Вся область, ограничивающая тело детали, разбивалась узловыми точками с шагом 0,5 мм в горизонтальной плоскости (положение детали при необходимости можно менять с помощью поворота на заданный угол и оценивать удобство размещения заготовки при альтернативной линии разъема). Фиксировались координаты пересечения лучей, выходящих из данных точек, со всеми поверхностями тела. Поскольку внутренние полости поковки закрываются штамповочным напуском, в массиве запоминались максимальные и минимальные значения, разница между которыми соответствует толщине детали в рассматриваемой зоне. Для точек на внешней границе твердого тела, т.е. при наличии незаполненных соседних элементов массива, определялась координата середины толщины, соответствующая потенциальному положению плоскости разъема. Далее на основе усреднения значений и с учетом минимального и максимального возможного смещения это положение уточнялось. Проверка выбранной линии разъема осуществлялась методом конечных элементов [3] в программе QForm после построения формы поковки и штампов для её получения. Основными критериями для оценки корректности положения разъема в ходе моделирования были: общее усилие штамповки (зависит от площади поперечного сечения), отсутствие дефектов, последовательность течения металла (мостик облойной канавки должен пережимать заготовку ближе к концу процесса), равномерность распределения деформаций и температур, износ поверхностей инструмента.

В результате был разработан программный модуль, который ускоряет один из этапов проектирования формы поковки. На примерах из ГОСТ 7505-89

подтверждена корректность работы алгоритма. Определяемое положение плоскости разъема учитывает глубину полученных ручьев штампа, а моделирование в QForm дает подробное представление о течении металла при пластической деформации. Однако необходимо отметить, что нахождение оптимального положения линии разъема остается сложной задачей, особенно для деталей с множеством элементов или при многоштучной штамповке. Несмотря на имеющиеся ограничения, ожидается, что новый подход будет востребован как при полной автоматизации проектирования оснастки, так и для обучения этим операциям искусственных нейронных сетей.

Таким образом, предложены методика и программный код в виде дополнения к SolidWorks, позволяющие в CAD-системе автоматически определить наиболее рациональное положение плоскости разъема штампов. При проектировании не требуется преобразовывать твердые тела в другие форматы, т.к. оснастка формируется непосредственно в рабочем окне, а затем проверяется в ходе конечно-элементного анализа в QForm. При необходимости выбор линии разъема может быть переопределен пользователем, в частности с учетом рекомендаций, выданных предложенным алгоритмом.

Список использованной литературы

1. *Оптимизация процессов горячей обработки давлением при изготовлении деталей из алюминиевых сплавов* / В. В. Гончаров, П. С. Григорьев, Е. Е. Маркелов, А. С. Севастьянов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 1. – С. 43-48. – EDN INHBRG.

2. Преображенский, Е. В. *Алгоритм для автоматизации проектирования штамповой оснастки* / Е. В. Преображенский, В. И. Галкин, Е. Е. Маркелов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2024. – № 13. – С. 608-624. – EDN FQWEUD.

3. Репецкий О. В. *Разработка математических моделей и исследование прочности деталей турбомашин с эксплуатационными дефектами* / О. В.

Репецкий, Х. И. Ким // System Analysis and Mathematical Modeling. – 2025. – Т. 7, № 4. – С. 523-538. – EDN ZCFMVU.