

УДК 621.7.06.003.14

М.Е. Тараненко, д-р техн. наук,
А.В. Демченко,
А.В. Маковецкий

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В условиях острой конкурентной борьбы производителей за рынки сбыта показатели технологичности любой продукции существенным образом определяют ее конкурентоспособность. Более точный учет всех показателей технологичности позволяет повышать адекватность управленческих решений при освоении новой продукции. Поэтому создание математических моделей расчета таких показателей является актуальной задачей. Это особо приоритетно для процессов обработки металлов давлением крупногабаритных деталей, для которых в составе затрат технологической себестоимости затраты на технологическую оснастку и штамповочное оборудование превалируют над другими затратами. Использование таких моделей при расчете показателей качества продукции позволяет уже на этапе проектирования адекватно оценивать ее качество, удовлетворяющее потребителя.

В числе определяющих показателей качества комплексный показатель технологичности детали практически для всех типов производств является важным. Его количественное значение зависит от стоимости используемой оснастки, а также от применяемого оборудования.

В связи с существенными изменениями технологии изготовления крупногабаритной штамповой оснастки (использованием ЧПУ и современных копировальных станков) известные эмпирические зависимости определения стоимости изготовления [1] во многом потеряли свою точность. Появление на рынке и использование нового листоштамповочного оборудования вызывают необходимость синтеза зависимостей их стоимости от технологических возможностей, которые можно использовать при планировании технологической подготовки производства.

При построении зависимостей трудоемкости изготовления технологической оснастки и цены технологического оборудования необходимо установить параметры аргументов. Их изменение разработчиком должно подсказывать и давать возможность оптимизировать принятие управленческих решений. Это достаточно строго определяет требования к точности и адекватности разрабатываемых зависимостей.

Кузнечно-прессовое оборудование обладает рядом технико-экономических характеристик, характеризующих возможности и область применения данного оборудования. В каталогах и справочниках можно найти такие данные, как усилие пресса, ход ползуна, число ходов ползу-

на в минуту, размеры стола, усилие прижима, мощность электродвигателя, габариты и вес пресса и другие. Разумеется, все множество показателей рассматривать просто нет смысла. Во-первых, математический аппарат требует минимизации и выделения основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на исследуемую целевую функцию. Во-вторых, некоторые показатели (вес, размеры оборудования) не представляют прямого интереса для обеспечения технологичности проектируемой детали.

Наиболее общим критерием технологичности конструкции изделия является ее экономическая целесообразность при заданном качестве в существующих условиях производства, эксплуатации и ремонта. В рамках данной статьи остановимся на оценке стоимости прессового оборудования, используя корреляционные зависимости.

Что же является основой для синтеза математической модели ценообразования прессового оборудования для крупногабаритной листовой штамповки? В статье [2] авторы сделали выбор в пользу усилия пресса (номинальная сила) и хода штока. Усилие прессования - действительно весомый показатель, характеризующий возможность деформирования заготовки из данного материала в принципе.

Касательно хода штока стоит отметить, что при крупногабаритной штамповке глубина детали сравнительно невелика, что объясняется сложностью обеспечения равномерной деформации на большие глубины. Кроме того, у всех рассмотренных единиц оборудования параметр «ход штока» в основном жестко связан с размерами стола.

Габариты стола, точнее его технологическая площадь, – второй аргумент, включенный в математическую модель. Площадь детали в плане – то, что уже известно на этапе эскизного проектирования, и может быть изменена на этапе отработки на технологичность (например, членение детали на составные части). Этот параметр определяет технологические возможности и характеристики ресурсопотребления оборудования. Ведь, оперируя удельными величинами, такими, как отношение площади стола к стоимости оборудования, можно находить стоимость единицы потребной технологической площади.

Причинно-следственная связь между усилием прессования, технологической площадью и стоимостью была взята за основу составления математической модели. Сложность определения комплексного показателя заключается в том, что при его расчете надо учитывать различную экономическую эквивалентность (весомость) входящих в нее элементов. Кроме того, нельзя пренебрегать различными вариантами свертки целевой функции.

Для решения всех этих вопросов была использована программа Microsoft Excel. На первом этапе, руководствуясь каталогами и справочниками кузнечно-прессового оборудования, были составлены электронные таблицы с занесенными основными данными по каждой модели

оборудования для механических и гидравлических прессов отдельно. Критерием отбора являлись ограничения на усилие (не менее 160 тс) и габариты (не менее метра по обоим направлениям).

При выборе функциональной зависимости были рассмотрены и проанализированы линейная, степенная и экспоненциальная функции. Средствами программы, с помощью функций ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ отдельно анализировалось множество данных по прессам.

Наилучшие результаты были получены при использовании степенной аппроксимации, что подтверждается коэффициентом множественной детерминации, критерием Фишера и доверительным интервалом.

Результаты расчета имеют вид:

$$- \text{ для механических прессов } C_M = A \cdot P_M^{1,109} \cdot S_M^{0,250} (\pm 13\%);$$

$$- \text{ для гидравлических прессов } C_G = A \cdot P_G^{0,506} \cdot S_G^{0,505} (\pm 18\%),$$

где C – стоимость, у.е; P – усилие, тс; S – площадь стола, мм². Индексами М и Г показана принадлежность к механическим и гидравлическим группам. В скобках указан доверительный интервал при 95-процентном уровне надежности. Коэффициент A учитывает поправку на валюту. Для американских долларов его следует принимать равным 0,75.

Полезность входящих аргументов подтверждается критерием Стьюдента. Выполнена проверка на вероятность наличия ошибочной корреляционной связи. Результаты позволяют использовать математические модели для оценки стоимости прессового оборудования, выходящего за диапазон исследуемой выборки в сторону увеличения параметров.

Полученная математическая модель может быть использована как для ориентировочной предварительной абсолютной оценки оборудования для крупногабаритной листовой штамповки, так и для сравнения относительных конструкторско-технологических решений во время проектирования и отработки на технологичность. Например, конструктор может оценить, во сколько раз изменится стоимость используемого оборудования при сокращении площади штампуемой детали или ее глубины.

Технологическая оснастка для штамповки отличается сложностью и неповторяемостью форм, единичным характером её производства, невозможностью применения принципа взаимозаменяемости, сложными технологическими приемами при изготовлении, потребностью в оборудовании высокой точности и универсальности. Технический уровень этих особенностей влияет на характерные технико-экономические показатели: цикл изготовления и трудоёмкость (в среднем 200-400 нормо-часов).

Для постановки задачи определения стоимости изготовления штамповой оснастки в качестве размерного параметра примем один из

наиболее универсальных факторов для оценки стоимости - трудоёмкость изготовления, определяемую объёмом механообработки.

При разработке математической модели в первую очередь необходимо отобрать небольшое количество факторов, однозначно отображающих объём механообработки при изготовлении штампов. Разрабатываемая модель должна по возможности распространяться на как можно большую по численности группу аналогичных объектов. Однако создание небольшого количества моделей, применимых к большим группам объектов, затруднительно в связи с характерными особенностями штамповой оснастки, применяемой на оборудовании различной номинальной мощности.

Для решения поставленной задачи в качестве факторов, определяющих трудоёмкость изготовления штампов, были выбраны два размерных параметра: полупериметр полости оснастки и максимальная глубина, которые являются непрерывными величинами и измеряются в мм, а также усилие деформирования, которое влияет на особенности изготовления штампов. Данные о трудоёмкости изготовления и геометрических параметрах штамповой оснастки собраны на предприятиях машиностроительной отрасли.

При построении математической модели была принята экспоненциальная функция свёртки. Она наиболее применима при постановке данной задачи в связи с тем, что функция данного вида даёт описание нелинейной связи между трудоёмкостью и факторами, а также не противоречит физической стороне задачи (при том, что какой-либо параметр, влияющий на трудоёмкость изготовления штамповой оснастки, стремится к нулю, множитель, соответствующий этому параметру, стремится к единице и не обращает в ноль искомую функцию).

В результате проведенного статистического анализа получены зависимости трудоёмкости изготовления от выбранных параметров для трех групп штампов по усилию деформирования: 1-я - до 5 т.с., 2-я - от 5 до 16 т.с., 3-я - свыше 16 т.с.

Полученный коэффициент множественной детерминации для синтезированных зависимостей трудоёмкости для штампов трёх групп указывает на сильную зависимость между трудоёмкостью и выбранными параметрами. При этом следует оценить, является ли эта зависимость случайной, и тем самым показать, насколько применимы данные модели для предсказания будущих значений. Оценка проводилась с помощью критерия Фишера. Было установлено, что полученная зависимость трудоёмкости для штампов 1-й группы неслучайна и полезна для предсказания будущих значений в сторону роста параметров с уровнем надёжности 72 %; 2-й – 90 %; 3-й – 75 %. По критерию Стьюдента было установлено то, что оба выбранных параметра являются равнозначно важными переменными для оценки трудоёмкости.

Модель рассчитывали с помощью средств Microsoft Excel с использованием функции ЛГРФПРИБЛ.

Конечные модели для расчета трудоёмкости изготовления штамповой оснастки для трёх выделенных групп представлены в таблице.

Группа штамповой оснастки	Математическая модель для оценки трудоёмкости изготовления, где T – трудоёмкость изготовления штампа, нормо-час; P – полупериметр ручья, мм; H – максимальная глубина ручья, мм
1	$T = 64,579 \cdot 1,001^P \cdot 1,003^H$
2	$T = 13,967 \cdot 1,002^P \cdot 1,009^H$
3	$T = 2,394 \cdot 1,002^P \cdot 1,023^H$

Применение многокоординатных фрезерных станков высокой точности приводит к снижению трудоёмкости изготовления штампов за счет снижения числа установок, исключения трудоёмких ручных подгоночных работ. Влияние такого параметра, как сложность формы изготавливаемой оснастки предлагается учесть введением коэффициента $k_c = \frac{H}{B}, \%$, где $\frac{H}{B}$ - отношение глубины к ширине локальных полостей, % - процент площади локальных полостей к общей площади ручья.

Таким образом, были синтезированы экономико-технические зависимости стоимости листоштамповочного оборудования и трудоёмкости изготовления штамповой оснастки от наиболее важных технологических параметров. В основу выбора параметров аргументов была положена возможность использования зависимостей на ранних этапах жизненного цикла изделий при оценке их технологичности или комплексных показателей качества продукции и производства.

Список использованных источников

1. Общемашиностроительные типовые нормы времени на изготовление штампов холодной штамповки / под ред. А.В. Федулова. – М.: НИИ труда, 1971. – 256 с.
2. Ковалев А.П. Математические модели для массовой оценки рыночной стоимости кузнечно-прессовых машин / А.П. Ковалёв, Е.В. Курова // КШП. ОМД. - 2003. - № 8. - С. 34-41.

Поступила в редакцию 6.03.09.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Г. Гребеников, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков