

УДК 539.3

Кухарь В. Д.
Киреева А. Е.
Ларин С. Н.

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМЫ СПИРАЛИ ИНДУКТОРА-КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ОБЖИМА

Эффективность любой технологической операции магнитно-импульсной обработки металлов определяется геометрическими размерами и конструкцией индуктора. Для обеспечения нормальной работы индукторов, повышения срока их службы необходимо выбирать оптимальную форму профиля сечения витка спирали индуктора, при которой реализуется равномерное распределение импульсного тока по его рабочей поверхности.

В работе Талалаева А. К. «Индукторы и установки для магнитно-импульсной обработки металлов» [1] экспериментально доказано, что на эффективность процесса магнитно-импульсной обработки существенное влияние оказывает не только количество витков спирали индуктора и их геометрия, но и форма спирали индуктора. В частности для операции обжим трубчатых заготовок наиболее эффективным оказался индуктор-концентратор магнитного поля, в котором за счет геометрии спирали индуктора осуществляется концентрация магнитного поля в зоне обработки. В отличие от индукторов со вставными концентраторами магнитного поля, такой тип индуктора обеспечивает больший коэффициент полезного действия процесса обжима.

Имея преимущества концентратора магнитного поля в сочетании с высокой стойкостью и технологичностью изготовления, такие индукторы получили широкое применение для выполнения сборочных и сварочных операций, редуцирования и формообразования.

Однако в настоящее время отсутствует научно-обоснованные методики позволяющие оценить эффективность работы данного типа индуктора и выбрать требуемую конфигурацию формы его спирали.

Работы [2–4], в которых были представлены математические модели, описывающие электромеханические процессы, протекающие при магнитно-импульсной обработке металлов, позволят исследовать форму спирали индуктора-концентратора.

Целью работы является разработка научно-обоснованной методики, позволяющей определить геометрические размеры спирали индуктора-концентратора, обеспечивающей максимальную деформацию заготовки при равных энергетических затратах.

На базе разработанной математической модели [2] была проведена серия численных экспериментов для определения наиболее эффективных размеров спирали индуктора-концентратора [5].

Численное моделирование проводилось для магнитно-импульсной установки со следующими параметрами разрядного контура:

рабочее напряжение	5 кВ;
энергоемкость	14,0 кДж;
емкость	1120 мкФ;
индуктивность	91,7 нГн;
рабочая частота разряда	15923 Гц;
разрядный ток	520 кА;
сопротивление установки	9,6 мОм.

Эффективность работы индуктора оценивалась по результатам обжима трубчатой алюминиевой заготовки, изготовленной из материала АМг2М, с внутренним радиусом 12 мм, толщиной 1,2 мм и высотой 38 мм, при этом длина обжимаемого участка составляла 6 мм.

Витки всех спиралей индуктора изготовлены из стали 65Г, причем минимальный внутренний радиус составлял 13,5 мм, наружный максимальный радиус 37,5 мм, толщина витка 6 мм, зазор между витками 1 мм.

Методика выбора геометрии заключается в следующем. В качестве исходного индуктора брался четырехвитковый цилиндрический индуктор. Далее постепенно увеличивая внутренний диаметр верхнего витка, определяли его геометрические размеры (рис. 1, а) при которых наблюдалось наибольшее формоизменение заготовки. Эти геометрические размеры являлись исходными для следующего этапа, на первом шаге которого внутренний диаметр второго витка сохранялся неизменным, а внутренний диаметр третьего и четвертого витка увеличивали на одну и ту же величину (рис. 1, б).

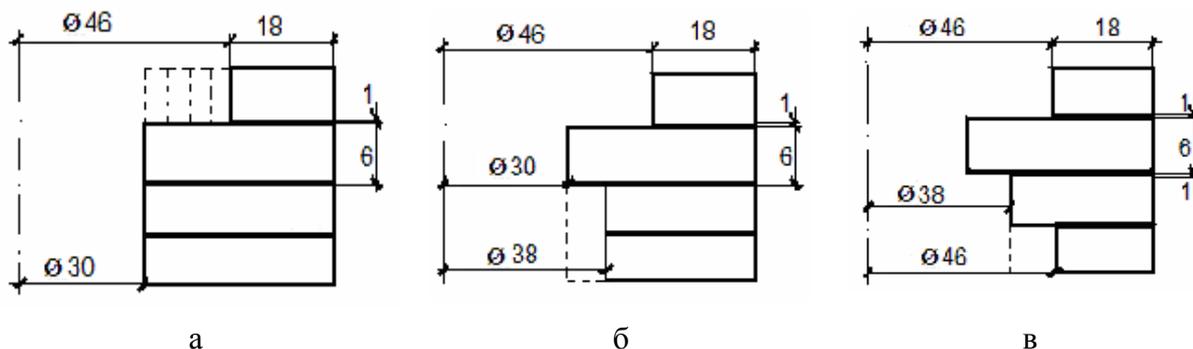


Рис. 1. Схемы подбора геометрических размеров спирали индуктора

На третьем шаге увеличивали диаметр только четвертого витка (рис. 1, в) и сравнивали полученный результат с предыдущим. Если эффективность процесса увеличивалась, то третий виток увеличивался до диаметра четвертого, и аналогичная процедура продолжалась до тех пор, пока эффективность процесса не начинала уменьшаться. В результате расчетов для нашего случая наиболее эффективным оказался индуктор со спиралью, геометрические размеры которой приведены на рис. 1, в.

Данная методика была использована для определения геометрии спирали индуктора в зависимости от материала заготовки, ее толщины, диаметра и разрядного контура. Расчет проводился для третьего разрядного контура.

Проведенные расчеты показали, что ни материал заготовки, ни ее толщина, ни тип разрядного контура на геометрию спирали влияние не оказывает. Основное влияние оказывает диаметр обрабатываемой заготовки, что видно из (рис. 2).

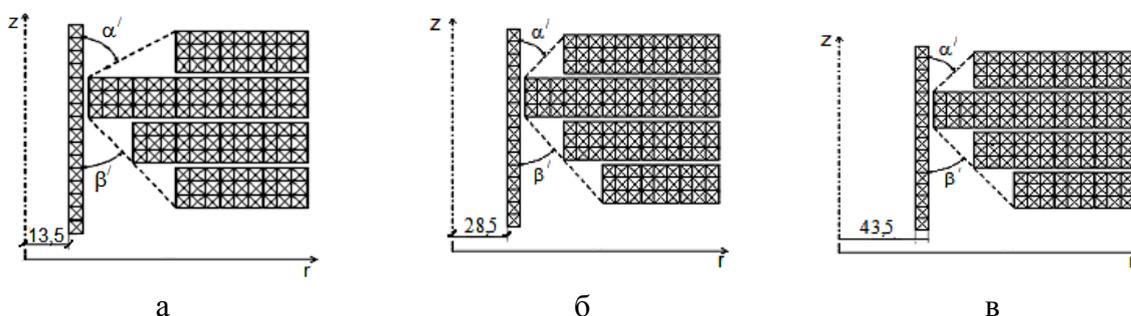


Рис. 2. Геометрия индуктора-концентратора при обжиге алюминиевой заготовки с внутренним радиусом:

а – 13,5 мм; б – 28,5 мм; в – 43,5 мм

Анализ (рис. 2) показал, что угол конусности нижних витков от диаметра заготовки не зависит ($\beta' = 43^\circ$). Угол конусности верхнего витка тем больше, чем меньше диаметр заготовки, т. е. при обжиге алюминиевой заготовки с внутренним радиусом 13,5 мм угол конусности

верхнего витка $\alpha' = 75^\circ$ (рис. 2); при обжиге алюминиевой заготовки с внутренним радиусом 28,5 мм и 43,5 мм угол конусности верхнего витка остается практически постоянным $\alpha' = 43^\circ$ (рис. 2, б, в).

Практическую реализацию данная методика получила при разработке технологического процесса получения сборочных соединений «трубка-фланец».

Изделие «Трубка-фланец» представляло собой сборочное соединение двух деталей: втулки (рис. 3), выполненной из алюминиевого сплава Д16Т и трубы из алюминиевого сплава АМГ2М наружным диаметром 25 мм, толщиной стенки 1,2 мм и длиной 60 мм (рис. 4).

Традиционные методы сборки таких изделий сваркой, пайкой, свинчиванием по резьбовым поверхностям, закатка роликом и обжим на прессах очень трудоемки.

Применение импульсного магнитного поля в сборочных операциях позволяет при небольших конструктивных изменениях мест сопряжения деталей и узлов, не влияющих на их функционирование значительно снизить трудоемкость изготовления. Кроме того, в отличие от прессовых операций, применение импульсного магнитного поля позволяет обеспечить максимальную соосность сопрягаемых изделий. Поэтому, для сборки данного изделия была выбрана операция магнитно-импульсной штамповки по схеме «обжим». При этом, для получения качественного соединения на втулке протачиваются две цилиндрические канавки шириной 2 мм и глубиной 1 мм, после чего производился обжим трубы в эти канавки (рис. 6).

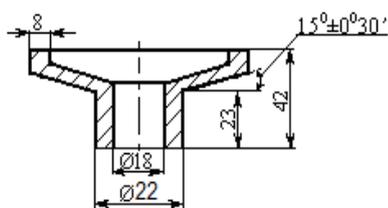


Рис. 3. Втулка

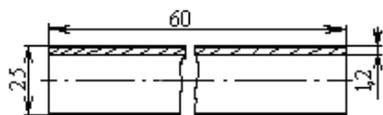


Рис. 4. Труба

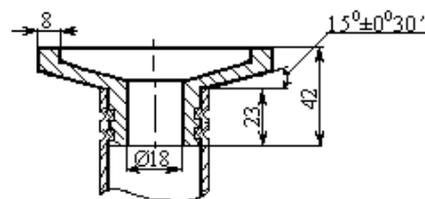


Рис. 6. Схема сборочного узла

Общий вид технологической наладки для сборки указанного изделия приведен на рис. 7. При этом в качестве инструмента использовался индуктор-концентратор, выполненный из стали 65Г, как наиболее эффективный из индукторов.

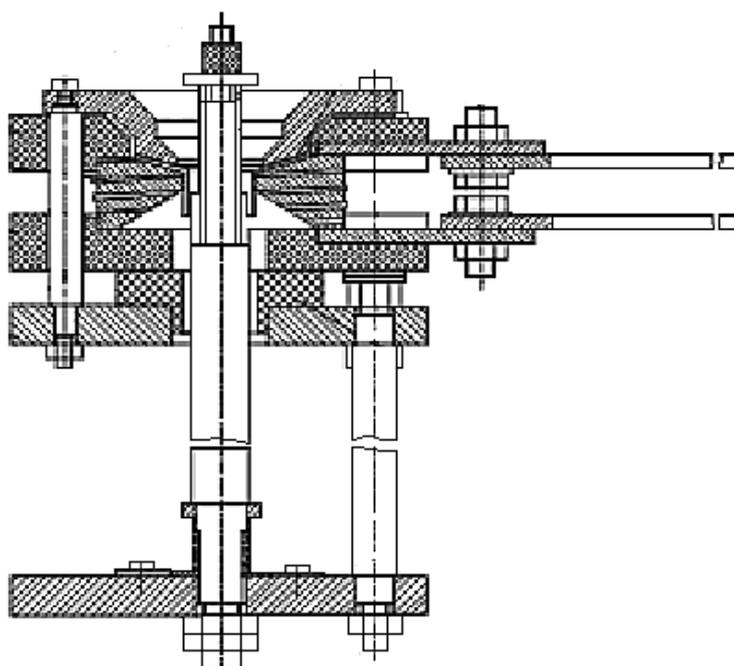


Рис. 7. Технологическая наладка для сборки изделия «Трубка-фланец»

Процесс был реализован в магнитно-импульсной установке энергоемкостью 60 кДж и собственной частотой разряда 55 кГц, при напряжении разряда конденраторной батареей 11 кВ (расчетное значение напряжения разряда составило 10,6 кВ). Готовые изделия представлены на рис. 8.

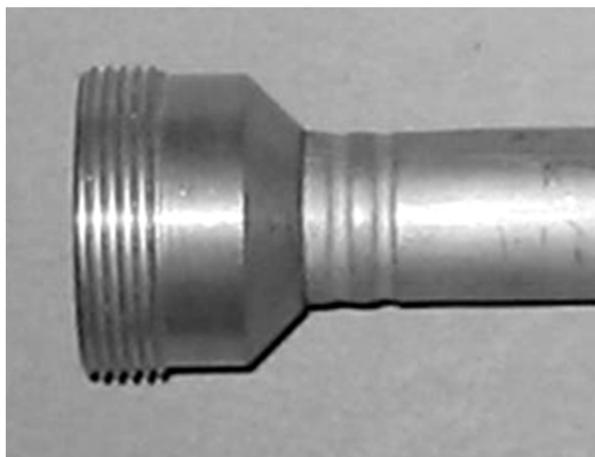


Рис. 8. Готовые изделия

ВЫВОДЫ

Приведена методика проектирования геометрии спирали индуктора-концентратора. Установлено, что геометрия спирали существенно зависит от диаметра обрабатываемой заготовки. Рассмотрен технологический процесс сборки изделий «трубка-фланец» с использованием индуктора-концентратора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талалаев А. К. *Индукторы и установки для магнитно-импульсной обработки металлов* / А. К. Талалаев. – М. : Информтехника, 1992. – 143 с.
2. Желтков В. И. *Математическая модель обжата заготовки импульсным магнитным полем* / В. И. Желтков, А. Е. Киреева, В. Д. Кухарь // *Вестник ТулГУ*. – Тула : ТулГУ, 2008. – Вып. 3. – С. 229–234. – (Серия «Актуальные вопросы механики»).
3. Кухарь В. Д. *Математическое моделирование процессов магнитно-импульсной обработки* : монография. В 2 ч. Ч. 1. *Механика пластического формоизменения в процессах магнитно-импульсной обработки* / В. Д. Кухарь, Е. М. Селедкин, А. Е. Киреева. – Тула : ТулГУ, 2009. – 160 с.
4. Кухарь В. Д. *Математическое моделирование процессов магнитно-импульсной обработки* : монография. В 2 ч. Ч. 2. *Электрохимические процессы в системе «установка-индуктор-заготовка»* / В. Д. Кухарь, А. Е. Киреева. – Тула : ТулГУ, 2011. – 90 с.
5. Кухарь В. Д. *Математическое моделирование электрохимических процессов в индукторах для магнитно-импульсной обработки металлов* : монография / В. Д. Кухарь, А. К. Талалаев, А. А. Орлов. – Тула : ТулГУ, 2004. – 117 с.

Кухарь В. Д. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТулГУ;

Киреева А. Е. – канд. техн. наук, доц. ТулГУ;

Ларин С. Н. – канд. техн. наук, доц. ТулГУ.

ТулГУ – Тульский государственный университет, г. Тула, Россия.

E-mail: kirealena@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.02.2012 г.