

Предложенная методика позволяет обеспечить низкий ТКЛР при изготовлении ППФ методом многостороннего деформирования и требуемое качество работы каналов систем спутниковой связи путем стабилизации радиофизических характеристик.

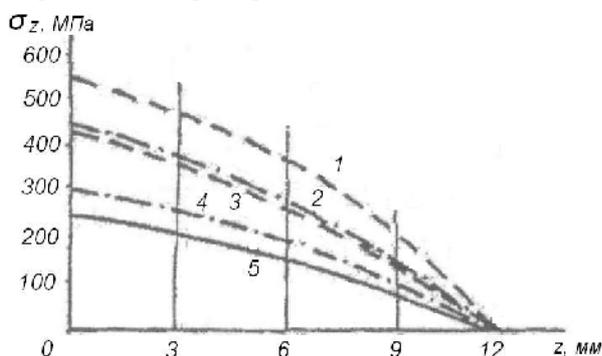


Рис. 6. Напряжения σ_z в сечениях очага деформации: l -волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм: 1 – усилие обжатия $\Delta = 0,40$ мм; 2 – усилие обжатия $\Delta = 0,15$ мм; 3 – усилие обжатия $\Delta = 0,1$ мм; 4 – усилие обжатия $\Delta = 0,08$ мм; 5 – усилие обжатия $\Delta = 0,05$ мм; 6 – усилие обжатия $\Delta = 0,05$ мм с наложением УЗК

Библиографические ссылки

1. Достижения в освоении миллиметровых и субмиллиметровых волн / Р. П. Быстров, А. В. Соколов, Л. В. Федорова [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 52–63.
2. Матей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и связи. Т. 1. М.: Связь, 1976.
3. Модель А. И. Фильтры СВЧ в радиорелейных системах. М.: [Б. и.], 1976.
4. Розенберг А. М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессе резания и деформирующего протягивания. Киев: Наукова думка, 1990.
5. Скворцов В. Ф., Арляпов А. Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра: монография. Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
6. Трифанов И. В., Оборина Л. И., Стерехов И. В. Исследование параметров взаимодействия инструментальной заготовки при изготовлении каналов волноводов малого сечения // Вестник СибГАУ. 2007. № 4. С. 126–127.
7. Дилатометрические исследования физических параметров труб волноводов / Л. И. Оборина, И. В. Трифанов, И. В. Стерехов [и др.] // Вестник СибГАУ. 2010. № 1. С. 42–46.

L. I. Oborina, A. E. Romanov, B. K. Ismaylov, I. V. Sterehov, I. V. Trifanov

TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURING BAND-PASS FILTERS WORKING IN UHF-, EHF-RANGES

Manufacturing methods of band-pass filter on a wave guide of rectangular section made of size stable material of 32 NKD alloy are presented in this article.

Keywords: wave guide, deforming inhaling, multilateral deformation, pressure.

© Оборина Л. И., Романов А. Е., Исмаилов Б. К., Стерехов И. В., Трифанов И. В., 2010

УДК 621.791.971

А. А. Безруких, Р. А. Мейстер, М. А. Лубнин, С. А. Готовко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАПЛАВКИ НЕЗАВИСИМОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

Приведена технология высокоэффективного процесса наплавки независимой трехфазной дугой покрытыми электродами. Доля участия основного металла в наплавленном состоянии не превышает 10 %, что неосуществимо при однодуговой наплавке.

Ключевые слова: наплавка, независимая трехфазная дуга, плавящиеся электроды.

Условия работы технических систем, в том числе космической техники, требуют производства узлов и деталей со специфическими свойствами рабочих поверхностей, таких как жаростойкость и жаропрочность, износостойкость, коррозионная стойкость и т. д. При этом необходимо экономное использование дорогостоящих материалов. Данная проблема решается путем использования наплавочных процессов. Однако широко распространенный однодуговой способ наплавки покрытыми

электродами имеет серьезные недостатки, которыми являются низкая производительность и необходимость нанесения 4–5-ти слоев для получения требуемого состава наплавленного металла.

Применение переменного тока в наплавочных процессах позволяет использовать простые и дешевые источники питания, обладающие более высокими КПД в сравнении с выпрямителями. Дуга переменного тока свободна от такого недостатка как магнитное дутье, поэтому использо-

вание сварочных трансформаторов, особенно трехфазных, в наплавочных процессах весьма перспективно.

Преимуществами трехфазной дуги являются высокая производительность процесса, достигаемая за счет одновременного плавления сразу трех электродов; значительное снижение глубины проплавления из-за отсутствия тока в наплавляемой детали; интенсивное перемешивание жидкого металла в сварочной ванне, обеспечивающее однородную структуру валиков. Отличительной особенностью способа является то, что наплавляемое изделие в цепь не включается, а трехфазная дуга находится между тремя стержнями, т. е. одновременно горят три однофазные дуги в одном общем факеле, взаимно влияя друг на друга и на электроды. Такое взаимодействие значительно увеличивает производительность наплавочных работ, уменьшает удельный расход электроэнергии и усиливает ионизацию дугового промежутка. При этом проплавление основного металла значительно уменьшается по сравнению с однофазными процессами наплавки. Оно происходит только за счет теплового воздействия трехфазной дуги и расплавленного электродного металла. В связи с освоением производства электродов диаметром 1,6–3 мм появилась возможность уменьшения массы электрододержателей и токоподводящих проводов для трехфазных дуговых процессов, что позволило решить проблему на пути реализации данного способа [1].

Однако в литературных источниках практически нет сведений о применении наплавки независимой трехфаз-

ной дугой тремя электродами. В связи с этим были проведены исследования по трехфазной наплавке покрытыми электродами с целью обеспечения формирования валиков при минимальной доле участия основного металла в наплавленном путем оптимизации параметров процесса.

Для проведения экспериментов по трехфазным процессам была собрана специальная установка с трансформатором ТШС-1000-3. Схема наплавки представлена на рис. 1. Падающая характеристика обеспечивалась отдельными дросселями с кольцевыми магнитопроводами. Это дает возможность регулирования и выравнивания тока в каждой фазе, что обеспечивает равномерность плавления электродов.

К покрытию электродов для наплавки трехфазной дугой предъявляются, помимо стандартных, требования ограниченной электропроводности и вязкости шлака. При их несоблюдении возможны короткие замыкания между стержнями по межэлектродному слою покрытия, затрудняющие ход процесса. Электроды с тремя стержнями в общей обматке промышленностью не выпускаются. Их сборка ведется в лабораторных условиях из обычных электродов диаметром 1,6–3 мм марок МР-3, ОЗС-12 и др. Изготовление пучка включает обматку связанных нитками стержней силикатным клеем, после высыхания которого они скрепляются через равные промежутки тонкой проволокой и просушиваются при температуре 200 °С [2]. Склеивание предотвращает расхождение электродов при обгорании связок. Одинаковое расстояние t между

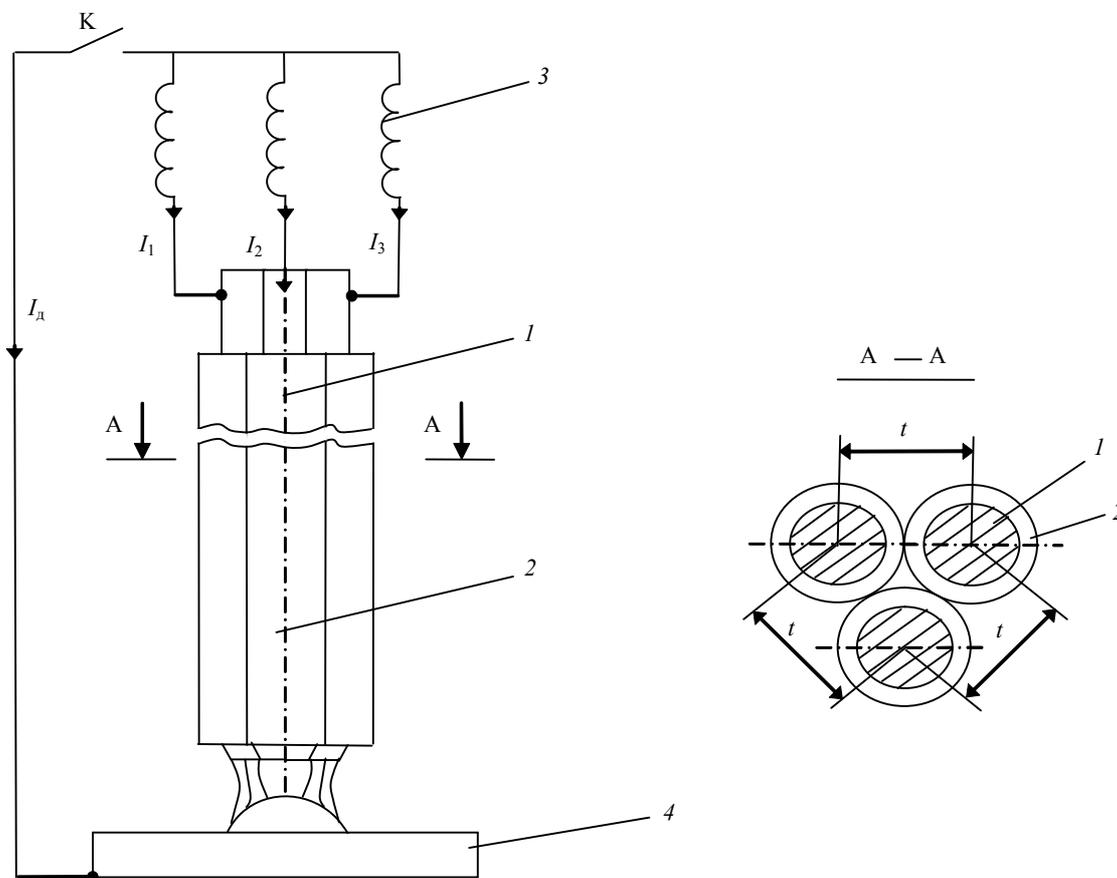


Рис. 1. Наплавка независимой трехфазной дугой: 1 – стержень электрода; 2 – покрытие на электроде; 3 – вторичные обмотки трехфазного трансформатора; 4 – деталь; I_1, I_2, I_3 – токи в электродах; I_d – ток в нулевом проводе; К – контакт отключения нулевого провода; t – расстояние между электродами

стержнями (рис. 1) обеспечивает им равные электрические параметры режимов, что способствует их равномерному плавлению. Собранный пучок фиксировался в простейшем электрододержателе с тремя взаимно изолированными медными пластинами.

Зажигание независимой дуги осуществляется касанием изделия тремя электродами при подключении к изделию нулевого провода. После зажигания дуги и разогрева детали нулевой провод отключается от детали. Недостатком процесса является невозможность гашения дуг без отключения питания. В отличие от однодуговой сварки напряжение дуг в данном случае изменять в процессе наплавки невозможно. Напряжение на дугах зависит от расстояния между электродами и толщины их покрытия.

К наиболее важным показателям устойчивости горения независимой трехфазной дуги следует отнести одновременное зажигание трех дуг, равномерность плавления трех электродов, потери на угар и разбрызгивание, стабильность по глубине проплавления и формированию валика, расстояние от независимой трехфазной дуги до детали, отсутствие сплавления трех электродов при перерывах в горении дуги [3].

Коэффициент наплавки Q_n (г/(А·ч)) в экспериментах можно определить следующим образом:

$$Q_n = G_n 3600 / (3I \cdot t),$$

где G_n – масса наплавленного металла, г; t – время горения дуги, с; I – линейный ток в электродах, А ($I_1 = I_2 = I_3$).

Процент потерь на угар и разбрызгивание (ψ) определяется по формуле

$$\psi = (G_{бр} / G_n) 100 \%,$$

где $G_{бр}$ – масса брызг, г.

Наплавка производилась на зачищенные до металлического блеска пластины из низкоуглеродистой стали толщиной 3–5 мм при следующих параметрах: $I_s = 55–60$ А; $U_d = 30–32$ В; $U_{xx} = 80$ В. Коэффициент наплавки составил 6,23–6,37 г/(а·час), потери на угар и разбрызгивание – 15–10 %. Таким образом, эффективность данного процесса выше, чем при однофазной наплавке, поскольку энергия затрачивается только на плавление электродного пучка.

При сравнении с традиционным однодуговым процессом наплавка независимой трехфазной дугой отличается значительно большей производительностью. Это обеспечивается одновременным горением сразу трех электродов. Более того, как показали эксперименты, на одинаковых режимах по току три электрода при наплавке независимой трехфазной дугой плавятся на 20 % быстрее, чем один электрод при обычной однодуговой наплавке. Высокая эффективность достигается также за счет уменьшения проплавления основного металла. При наплавке одним электродом величина доли участия основного металла в наплавленном обычно составляет 30–40 %. В результате большая часть наплавленного металла уходит в основной, а чистый наплавленный металл возможно получить только в 4–5 слое. При наплавке исследуемым способом были получены образцы с долей участия основного металла в наплавленном менее 10 %.

После наплавки образцы с валиками разрезались поперек, шлифовались с последующим травлением в 30%-ном растворе азотной кислоты для выявления границы сплав-

ления. Доля участия основного металла в наплавленном определялась с помощью цифровых фотоснимков по формуле

$$\lambda = (F_{np} / F_n) 100 \%,$$

где F_{np} – площадь проплавления основного металла; F_n – общая площадь поперечного сечения валика (рис. 2).

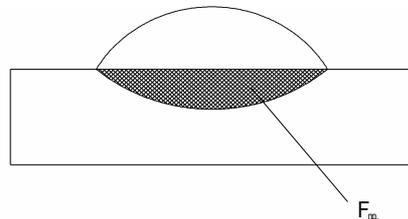


Рис. 2. Поперечное сечение валика

Установлено, что проплавление основного металла минимальное, доля участия основного металла в наплавленном доходила до 10 %. Очевидно, что способ трехфазной наплавки независимой дугой позволяет решить проблему проплавления основного металла. Получение чистого наплавленного металла без примесей основного возможно с первого-второго слоя, что недостижимо при обычных однодуговых способах наплавки. Выявлено, что повышение тока значительно улучшает формирование шва, зажигание дуги и устойчивость ее горения. Но проплавление увеличивается с 2–7 до 8–10 %.

Хорошие результаты показала также наплавка на простую сталь электродами аустенитного класса. Для наплавки использовались электроды ОК 61,30 фирмы ESAB диаметром 2,5 мм. Минимальное проплавление основного металла было получено на следующих режимах: $I_{эл} = 50$ А, $U_d = 32–34$ В, $U_{xx} = 75$ В. Доля участия основного металла в наплавленном не превышает 5 % (рис. 3).

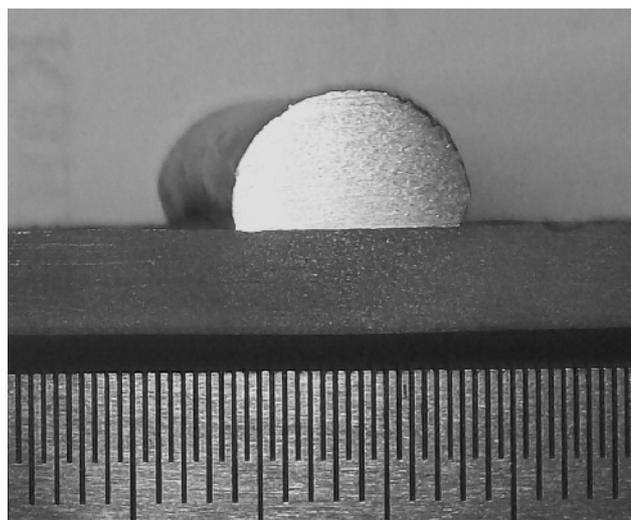


Рис. 3. Внешний вид образца в поперечном сечении, наплавленного электродами аустенитного класса

Из образцов наплавки электродами МР-3 изготовлены металлографические шлифы для выявления характера микроструктуры (рис. 4). Для травления шлифов способом втирания использовался реактив следующего состава: $HCl - 60$ см³, $CuSO_4 - 12$ г, $H_2O - 60$ см³. Исследова-

ние проводилось под микроскопом МЕТАМ ЛВ-31 при увеличениях $\times 50$ и $\times 100$.

Анализ микрошлифов выявил слоистость структуры наплавленного валика (рис. 5), связанную, очевидно, со спецификой электродного пучка. Хорошо визуализируется характерное для процессов плавления металла дендритное строение. Граница между основным и наплавленным металлом – четкая.

Переходная зона (рис. 6), от которой происходит рост столбчатых кристаллитных блоков, состоит из основного и наплавленного металла. Околошовная зона имеет крупнозернистую структуру, как результат перегрева основного металла при наплавке. Это свидетельствует о высокой эффективности теплового источника. Преодолеть крупнозернистое строение основного металла вблизи границы сплавления можно путем принудительного охлаждения детали с ее обратной стороны проточной водой, увеличением скорости наплавки, последующей термической обработкой (нормализацией).

Минимальный ток устойчивого горения независимой трехфазной дуги при диаметре электродов 2 мм составляет 55 А, а при пониженных значениях зажигание дуги становится затруднительным.

Оптимальный интервал токов составляет 60–70 А. Превышение этих значений приводит к чрезмерной глубине проплавления основного металла.

В ходе исследований были получены образцы наплавки независимой трехфазной дугой, в которых доля участия основного металла в наплавленном составляет менее 10 %. Подтверждена высокая производительность технологического процесса наплавки независимой трехфазной дугой покрытыми электродами.

Металлографическим способом были выявлены слоистость наплавленного валика, связанная с конструкцией

электродного пучка, а также дендритное строение структуры. Граница между основным и наплавленным металлом – четкая, что связано, вероятно, со сниженным влиянием независимой дуги на основной металл.

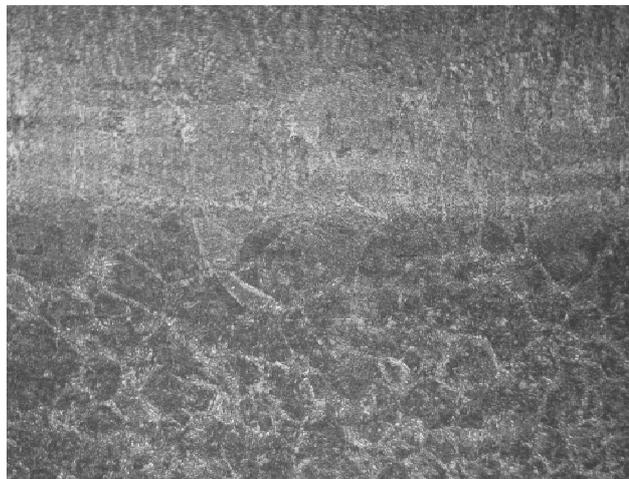


Рис. 6. Переходная зона $\times 100$

Библиографические ссылки

1. Михайлов Г. П. Сварка трехфазной дугой. М.: Машгиз, 1956.
2. Мейстер Р. А., Падар В. А., Безруких А. А. Наплавка трехфазной дугой плавящимися электродами: сб. науч. тр.; отв. ред. Е. Г. Синенко. Красноярск: СФУ, 2007. С. 30–34.
3. Мейстер Р. А., Безруких А. А., Мейстер А. Р. Многодуговая наплавка покрытыми электродами // Сварочное производство. 2008. № 8. С. 21–23.

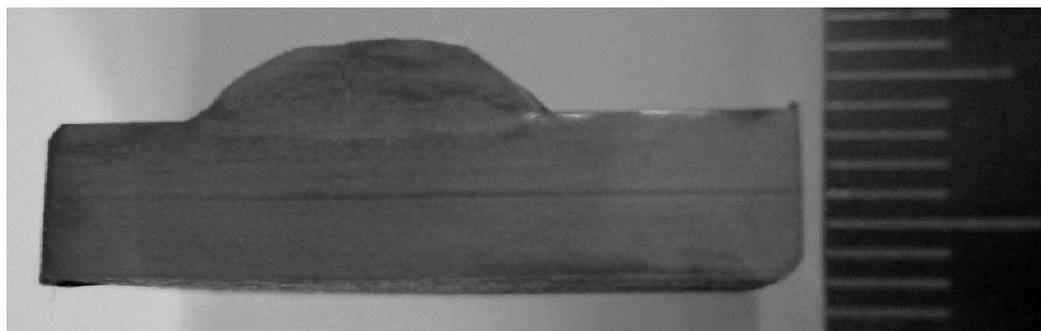


Рис. 4. Поперечное сечение валика, наплавленного электродами МР-3 диаметром 2 мм

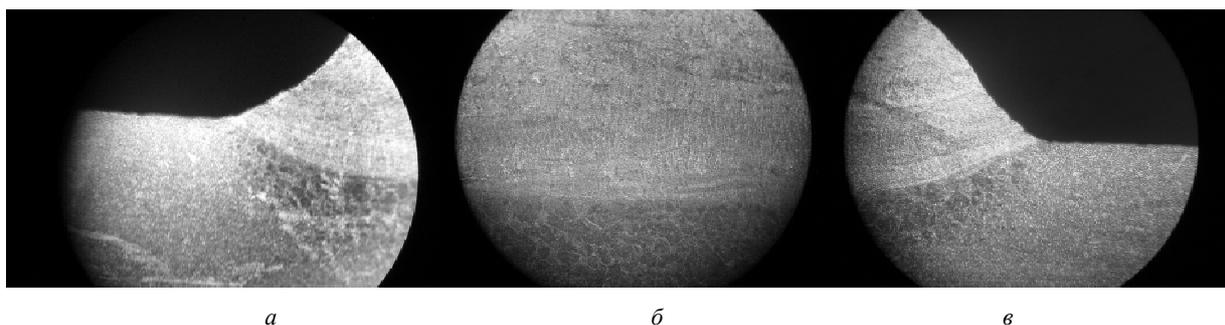


Рис. 5. Общий вид микроструктуры в зоне наплавленного металла ($\tau 50$): а, в – края валика; б – середина

A. A. Bezrukih, R. A. Meister, M. A. Lubnin, S. A. Gotovko

INVESTIGATION OF WELD-DEPOSITION BY MEANS OF INDEPENDENT THREE-PHASE ARC SURFACING WITH CONSUMABLE ELECTRODES TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES

The technology of high-effective process of weld-deposition by independent three-phase arc surfacing with coated electrodes is given in the article. The share of the main metal in the overlay does not exceed 10 %, which is impractical for one-arc surfacing.

Keywords: surfacing, independent three-phase arc, consumable electrodes.

© Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., 2010

УДК 62-231.322.3

Н. А. Колбасина, Н. В. Мерзликина, В. А. Титов

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОРЦЕВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Показано, что результаты предыдущих работ по синтезу геометрии торцевой зубчатой передачи несовместимы с современными CALS-технологиями проектирования машин.

Полученная математическая модель передачи, на основе которой, используя возможности современных вычислительных пакетов, проведен синтез геометрии торцевой зубчатой передачи.

Ключевые слова: торцевая зубчатая передача, колесо, шестерня, геометрия.

В работе [1] показано, что одним из самых эффективных способов измельчения является измельчение в закрытом объеме при совместном воздействии на материал сжатия и сдвига. Наиболее полно этот способ реализуется в измельчителях, исполнительный механизм которых выполнен на основе торцевой зубчатой передачи (ТЗП).

Одним из основных моментов при создании таких измельчителей является проектирование геометрии ТЗП.

В [2] приведен анализ предыдущих работ по проектированию геометрии ТЗП, который выявил следующее:

- синтез геометрии выполнялся на основе метода профильных нормалей путем сочетания математических расчетов координат точек и построением по ним профиля вручную, хотя известен другой более эффективный метод, основанный на теореме Гофмана, но он не применялся из-за недостаточно развитого в то время программно-математического обеспечения;

- из-за особенностей метода профильных нормалей затруднен поиск рациональной геометрии, автоматический синтез профилей колес передачи;

- полученные ранее результаты по проектированию геометрии несовместимы с современными CALS-технологиями создания машин.

Таким образом, перед нами стала задача по реализации современного подхода к проектированию геометрии и созданию на основе ТЗП измельчителей материалов.

Как показано выше, существующие подходы к проектированию геометрии ТЗП не позволяют создать процессорные модули для вычислительных пакетов типа COSMOS, ANSYS и т. д., а также их использование в сис-

темах автоматического проектирования [3]. В работах [4; 5] рассматривается способ аппроксимационного решения задач профилирования (как прямой, так и обратный) без вычисления нормалей и скоростей относительного движения по единому алгоритму для любых форм описания исходного профиля.

Используя методику, изложенную в работах [3–5], решим задачу по проектированию геометрии ТЗП.

Нахождение сопряженного профиля можно представить в виде схемы: известен (задан) рабочий профиль зубьев одного из колес ТЗП, требуется найти профиль зубьев сопряженного колеса. Он может быть задан аналитически или в виде последовательности точек. В последнем случае необходимо использовать сплайн-аппроксимацию.

Составим свод формул для преобразования координат заданного исходного профиля зубьев одного из колес в координаты другого колеса передачи. При этом сложное движение представим в виде сочетания простейших движений: прямолинейного переноса и поворота координатных систем относительно друг друга.

Пусть зубья колеса выполнены с плоскими рабочими поверхностями, а шестерни – с выпуклыми поверхностями, которые характеризуются тем, что рабочие поверхности шестерни образованы кривой, сопряженной к линии – образующей рабочий профиль зубьев колеса.

После преобразований в координатной форме формулы перехода от системы колес S_k к системе шестерни S_{sh} примут следующий вид:

$$\begin{cases} x_{sh} = x_k \cos R\psi + y_k \sin R\psi - \alpha \sin \psi; \\ y_{sh} = -x_k \sin R\psi + y_k \cos R\psi - \alpha \cos \psi, \end{cases} \quad (1)$$