

По описанной выше методике был выполнен анализ стационарности и эргодичности процесса зубофрезерования цилиндрических шестерён червячной фрезой в различных условиях.

Выводы

1. Впервые применительно к технологическим процессам механической обработки деталей машин обоснованы и сформулированы требования к экспериментальным данным, используемым для их моделирования.

2. Показаны предпочтительные методы проверки соблюдения указанных требований и приведены рекомендации по эффективному применению этих методов.

3. В наилучшей степени распределение рассмотренных 13 показателей точности зубьев при зубофрезеровании и зубодолблении описывается распределением типа А и логарифмически нормальным распределением.

4. Для описания распределений всех рассмотренных показателей точности зубьев шестерён в изучаемых условиях обработки может быть использован также закон нормального распределения.

5. Процесс зубофрезерования цилиндрических шестерён червячной фрезой для основных показателей точности зубьев является стационарным и обладает эргодическим свойством.

6. Имеются предпосылки получения надежной модели влияния различных факторов на основные показатели точности зубьев цилиндрических шес-

Получено 21.02.2017

терён статистическими методами при их зубофрезеровании червячной фрезой и зубодолблении по одной реализации достаточно большой продолжительности.

Библиографические ссылки

1. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента : пер. с англ. – М. : Мир, 1981. – 520 с.

2. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика : Основы моделирования и первичная обработка данных : справочное издание. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

3. Кане М. М. Основы научных исследований в технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов. – Минск : Вышэйш. шк., 1987. – 231 с.

4. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Указ. соч.

5. Кане М. М. Указ. соч.

6. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Указ. соч.

7. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник. – М. : Машиностроение, 1985. – 232 с.

8. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Указ. соч.

9. Кане М. М. Указ. соч.

10. Степнов М. Н. Указ. соч.

11. Кане М. М. Указ. соч.

12. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Указ. соч.

13. Кане М. М. Указ. соч.

14. Айвазян С. А., Енюков Е. С., Мешалкин Л. Д. Указ. соч.

15. Там же.

16. Кане М. М. Указ. соч.

УДК 621.7.075

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-43-47

Г. Ю. Волков, доктор технических наук, доцент, Курганский государственный университет

С. А. Киселев, аспирант, Курганский государственный университет

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛЕКСАГОНОВ

Зубчатые механизмы используются повсеместно. В настоящее время при изготовлении их деталей практически всегда применяется механическая обработка зубчатых венцов резанием и шлифованием. Традиционные технологии производства обычных зубчатых колес внешнего зацепления особых проблем не встречают. Несколько сложнее решаются задачи обработки внутренних зубьев, зубьев нестандартного профиля и некруглых зубчатых венцов. Тем не менее изготовление цельнометаллических зубчатых колес всегда сопряжено с повышенным расходом материала, с большими затратами на зубообрабатывающее оборудование, инструмент, а также на высококвалифицированный персонал. Безотходные технологии производства зубчатых венцов, такие, например, как точное литье,

ковка, порошковая металлургия, необходимой точности металлических зубчатых колес пока не обеспечивают.

Существуют предложения [1, 2] изготавливать поверхности зубьев из тонкого листового материала, в том числе применять в качестве некоего полуфабриката сгибаемую по форме колеса металлическую ленту, на которой заранее выполнены зубья. Так, например, известен способ [3] изготовления зубчатых венцов, при котором из полосы, имеющей толщину, равную ширине зубчатого венца, путем ее гофрирования получают зубчатую ленту, являющуюся разверткой готовой детали, сворачивают зубчатую ленту в цилиндр и скрепляют ее концы, например, посредством сварки. Для повышения точности полученный подобным образом зубчатый венец

полезно откалибровать в пресс-форме [4]. Такой способ изготовления зубчатых венцов обеспечивает экономию материала.

Известен способ [5, 6] производства зубчатых венцов (рис. 1), включающий следующие операции: а) получение плоской полосы металла с постоянной заданной шириной b и толщиной δ ; б) обработка полосы, обеспечивающая получение на ней ребер заданной высоты (т. е. зубьев), наклоненных к кромкам полосы под углом φ , производящаяся путем прокатывания между зубчатыми валками; в) сворачивание полосы в спираль (ширина полосы b и угол φ наклона ребер связаны таким образом, чтобы конец каждого ребра совпадал с ребром на другом витке спирали); г) соединение кромок, которое выполняется с помощью сварки.

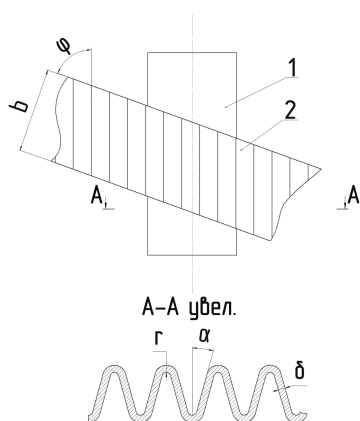


Рис. 1. Способ формирования зубчатых венцов:
1 – цилиндр; 2 – зубчатая лента

Нами был предложен [7] существенно модернизированный способ изготовления зубчатых венцов, содержащий операцию сворачивания в спираль зубчатой ленты. Новым является то, что в качестве зубчатой ленты используется достаточно тонкая, многократно согнутая полоса-заготовка (рис. 2).

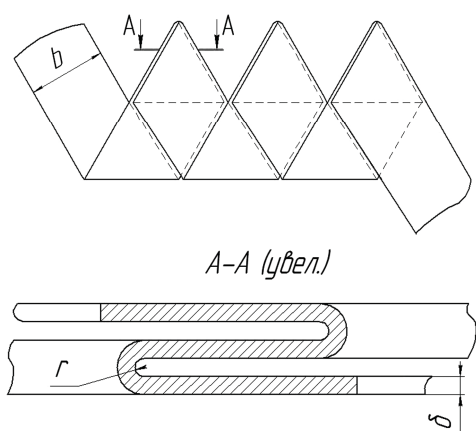


Рис. 2. Флексагон – заготовка зубчатой ленты

Она укладывается (рис. 3) на ребро слоями по винтовой линии. Контур зубчатой ленты подбирает-

ся приблизительно соответствующим требуемому профилю получаемого зубчатого венца. Перегибание полосы-заготовки (в зубчатую ленту) выполняется не резко, а с некоторым остаточным радиусом r . Это делается для того, чтобы при опрессовке зубчатой ленты, осуществляемой путем осевого сжатия пакета, окончательный профиль венца более точно копировал профиль пресс-формы (рис. 4). Последующая фиксация зубчатой ленты достигается склеиванием, пайкой, сваркой или просто плотным сжатием ее витков. Преимущества такого метода: а) лента тонкая, поэтому пресс-форма благодаря невысоким температурам процесса и небольшим усилиям прессования длительно сохраняет свою точность; б) зубчатая лента установлена относительно сил, действующих в зацеплении «ребром», поэтому она сама (без участия связующих компонент) полностью обеспечивает необходимую прочность зубчатого венца.

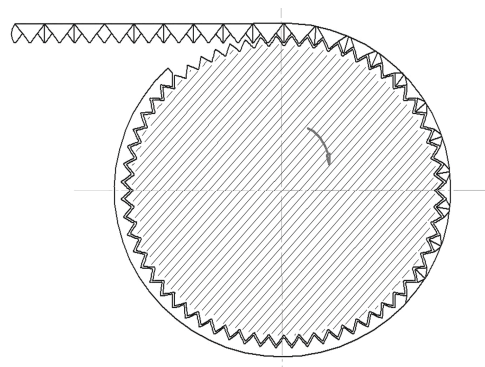


Рис. 3. Операция сворачивания зубчатой ленты, т. е. флексагона, в спираль с внутренними зубьями

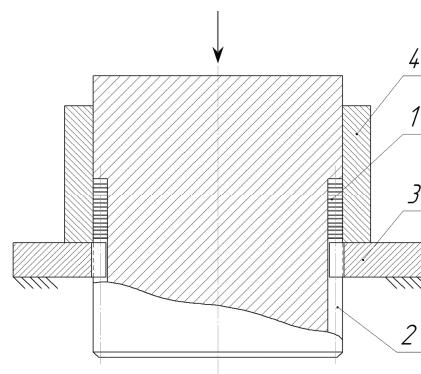


Рис. 4. Операция осевого сжатия зубчатой ленты в пресс-форме: 1 – зубчатая лента; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – оправка

Важнейшая операция во всех перечисленных способах получения зубчатых венцов – формирование зубчатой ленты. При этом ключевой задачей является технология изготовления такой ленты. Не менее важно научиться корректно описывать форму и размеры зубчатых лент. Анализ многообразных вариантов получения зубчатых венцов из деформируемой полосы привел авторов данной статьи к мысли использовать при количественном описании формы зубчатой ленты подход, характерный для так называемой теории флексагонов [8].

Флексагонами (от англ. to flex, лат. flectere – складываться, сгибаться, гнуться – и греч. $\omega\nu\gamma\omicron\varsigma$ – угольник) называют фигуры, полученные путем сгибания полосы. История флексагонов начинается с 1939 г., когда английский студент Артур Стоун, изучавший математику в Принстонском университете США, заинтересовался складыванием различных фигур из бумажных полос [9, 10]. В том же году был создан «Флексагонный комитет», в который вошли, кроме Стоуна, аспирант-математик Бриан Такерман, аспирант-физик Ричард Фейнман, преподаватель математики Джон У. Тьюки [11]. Работы Фейнмана и Тьюки положили начало теории флексагонов. Популярность флексагоны получили в 1956 г. после публикации в журнале Scientific American материалов Мартина Гарднера [12]. Флексагоны неодно-

кратно были запатентованы в виде игрушек, но не нашли широкого применения [13].

В качестве предмета теории флексагонов (которая в законченном виде так и не была опубликована), по-видимому, следует рассматривать множество вариантов согнутых полос – флексагонов, их систематику. Основным методом получения флексагонов – циклически повторяющиеся, последовательные преобразования полосы, включающие ее поворот (сгибание) и линейное перемещение (выдвижение). Эти же преобразования лежат и в основе соответствующих математических моделей.

Применительно к задаче изготовления зубчатых венцов важны следующие параметры преобразования полосы-заготовки (рис. 5).

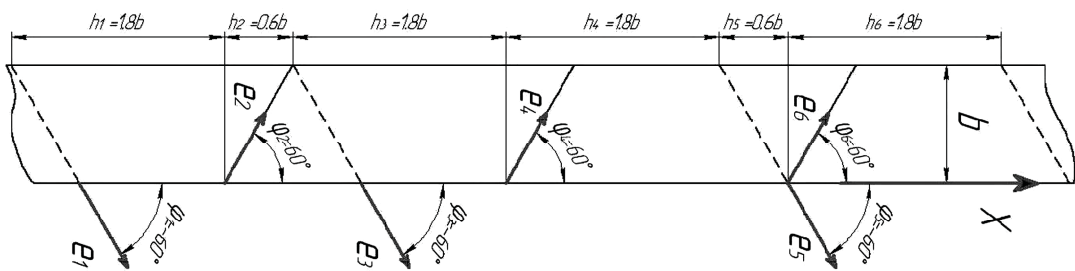


Рис. 5. Развертка флексагона, отвечающего формуле (3)

Параметры самой полосы: b – ширина полосы-заготовки; в общих выкладках ширину полосы-заготовки целесообразно брать за единицу; δ – толщина полосы-заготовки, отнесенная к ее ширине.

Линейные параметры преобразования: h_i – очередное выдвижение полосы-заготовки вдоль своей кромки, отнесенное к ширине полосы-заготовки; r_i – радиус по внутренней поверхности сгиба, отнесенный к ширине полосы-заготовки.

Угловые параметры преобразования: φ_i – угол расположения оси линии сгиба, отсчитанный против часовой стрелки, между осью координат X , связанный с кромкой полосы-заготовки, и ортом, лежащим на оси линии сгиба, проекция которого на ось координат неотрицательна; γ_i – угол поворота ленты при сгибе. Направление поворота будем характеризовать знаком этого угла: «+» – на себя и «-» – от себя, когда ось отсчета X лежит на правой кромке ленты-заготовки. Заметим, что величина угла, не равная $\pm 180^\circ$, характерна для пространственных флексагонов.

Обобщенная формула интересующих нас флексагонов будет иметь вид

$$(\varphi_1; \gamma_1; r_1; h_1) \rightarrow (\varphi_2; \gamma_2; r_2; h_2) \rightarrow \dots \rightarrow (\varphi_n; \gamma_n; r_n; h_n). \quad (1)$$

Флексагон, используемый при изготовлении того или иного зубчатого венца, будет однозначно характеризоваться своей конкретной формулой, соответствующей одному циклу преобразований. Так, для

косозубой зубчатой ленты по патенту [14] (см. рис. 1) формула флексагона будет иметь вид

$$(-\varphi_1; (180 - 2\alpha_1); r_1; h_1) \rightarrow (-\varphi_1; -(180 - 2\alpha_1); r_1; h_1),$$

или для конкретных параметров:

$$(-70^\circ; 150^\circ; 0,03; 0,24) \rightarrow (-70^\circ; -150^\circ; 0,03; 0,24). \quad (2)$$

Заметим, что размер h' , показанный на рис. 1, несколько отличается от технологического параметра h_1 выдвижения флексагона.

При изготовлении зубчатых венцов по нашему патенту [15] могут использоваться различные флексагоны. Конкретные значения их параметров зависят, в первую очередь, от требуемого профиля изготавливаемого зубчатого венца, в том числе от угла зацепления. Для типичных венцов с внутренним зубом подходит флексагон (рис. 2, 5), цикл преобразований которого

$$\begin{aligned} &(-60^\circ; 180^\circ; 0,05; 1,8) \rightarrow (60^\circ; -180^\circ; 0,05; 0,6) \rightarrow \\ &\rightarrow (-60^\circ; 180^\circ; 0,05; 1,8) \rightarrow (60^\circ; -180^\circ; 0,05; 1,8) \rightarrow \\ &\rightarrow (-60^\circ; 180^\circ; 0,05; 0,6) \rightarrow (60^\circ; -180^\circ; 0,05; 1,8). \quad (3) \end{aligned}$$

Достоинством этого флексагона, проявляющимся при его изготовлении, является наличие только двух значений параметра φ (угла между осью сгиба и кромкой полосы-заготовки). При этом каждый последующий сгиб полосы-заготовки на $\gamma = 180^\circ$ целесообразно выполнять в направлении, противоположном

ном предыдущему сгибу, что отображено знаками «плюс» и «минус» в формуле (3). Для облегчения процесса окончательного формирования требуемого профиля зуба в пресс-форме радиус r каждого сгиба полосы-заготовки следует принимать не более 0,05 от ее ширины. При этом в процессе укладки флексагона во впадины конгруэнтного венца пресс-формы толщина зуба флексагона, которая была несколько меньше, чем окончательной толщина формируемого зуба зубчатого венца, при прессовании деформируется (сплющивается), как нужно.

Для венцов с внутренним зубом, работающих при максимальных углах зацепления, подходит флексагон (рис. 6) с циклом преобразований

$$(45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (-45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (-45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 1). \quad (4)$$

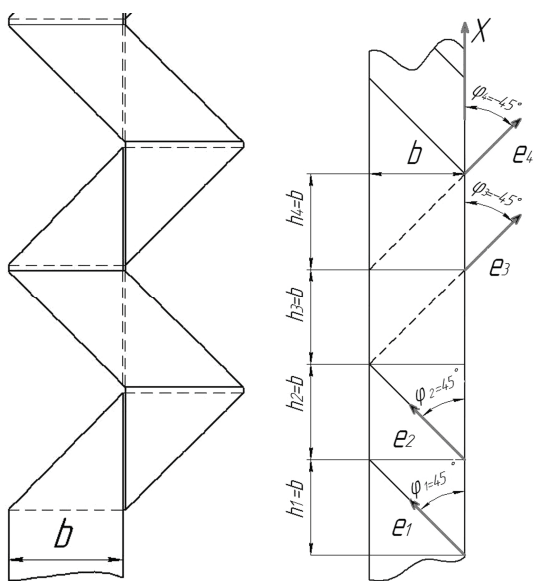


Рис. 6. Флексагон, соответствующий формуле (4), и его развертка

Для зубчатых венцов с внешними зубьями, работающих при малых углах зацепления, годится флексагон (рис. 7), цикл преобразований которого

$$(45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 3) \rightarrow (90^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 2) \rightarrow (45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 2) \rightarrow (-45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 3) \rightarrow (90^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 2) \rightarrow (-45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 2). \quad (5)$$

При этом сгиб с $\varphi = 0$ находится на вершине зуба.

Флексагон с аналогичной структурой, но с измененными параметрами, может быть использован при изготовлении внешних и внутренних прямоочных и треугольных шлицев. В последнем случае сгиб с $\varphi = 0$ находится на стороне зубчатой ленты, противоположной вершине зуба (рис. 8):

$$(45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (90^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 0) \rightarrow (45^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (-45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 1) \rightarrow (90^\circ; 180^\circ; 0; 0,5; 0) \rightarrow (-45^\circ; -180^\circ; 0; 0,5; 1). \quad (6)$$

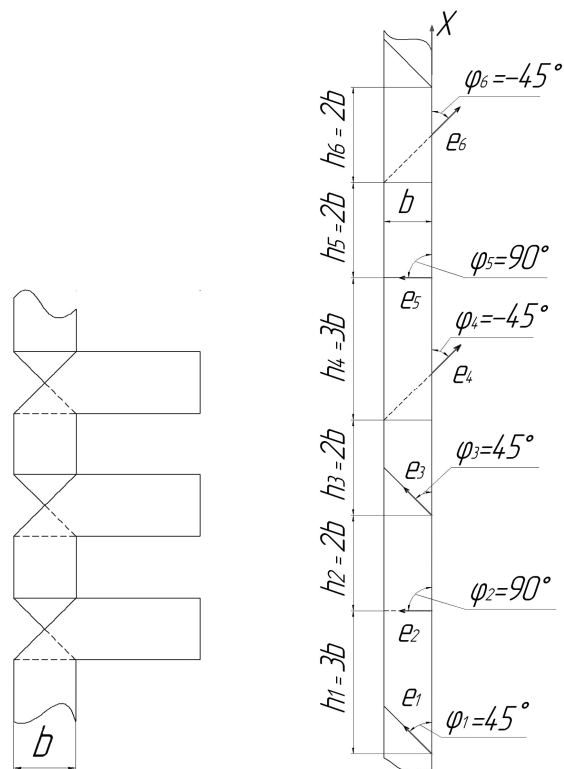


Рис. 7. Флексагон по формуле (5) и его развертка

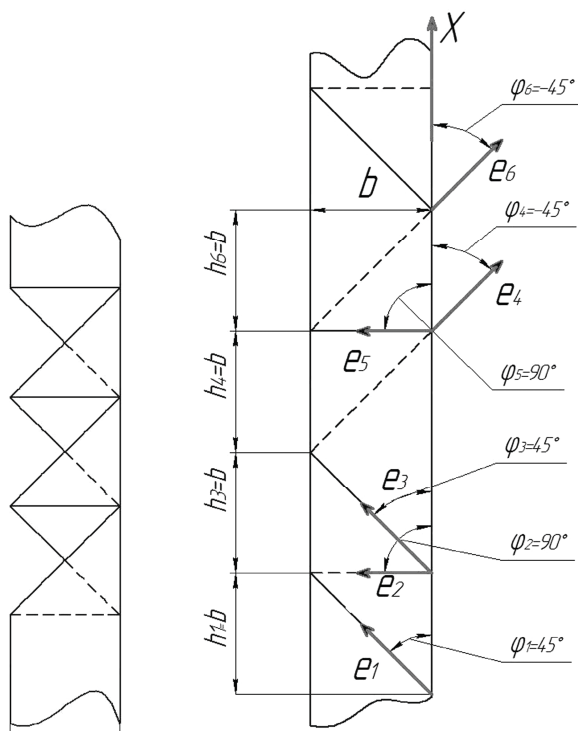


Рис. 8. Флексагон по формуле (6) и его развертка

Заключение

В целом технологии производства зубчатых венцов с использованием зубчатых лент (флексагонов) представляются весьма перспективными и заслуживающими глубокого изучения. Преимущества таких конструкции и способов изготовления венцов следующие:

– безотходность производства, возможность изготавливать из нужных материалов только сами зубья, т. е. экономия материалов;

– возможность изготовления тех зубчатых венцов, которые трудно обработать обычными способами: внутренних зубьев, зубьев нестандартного профиля, некруглых зубчатых колес.

В данной статье нами пройден важный этап на пути к созданию упомянутых выше технологий – осуществлен выбор математического аппарата для количественного описания зубчатых лент. Составлена обобщенная формула флексагонов, предназначенных для изготовления зубчатых венцов.

Библиографические ссылки

1. Пат. DE2063266, МПК В21D53/16; В21D53/28; F16C35/077; Rapid production of tolerance rings from-coiled strip / KOCH HANS W ; Оpubл. 1971-06-24. – 24 с.

2. Пат. CN202971814, МПК F16H55/06; F16H55/17. Anti-lock high-performance induction tooth ring for powder metallurgy / LIU WENHAI; ZHU JIANGHONG; XIE TIENAN ; Оpubл. 2013-06-05. – 6 с.

3. Изобретение SU837507 МПК: В21D53/28 В21D53/28. Способ изготовления шлицевых венцов / А. И. Осколков, О. Б. Миндрул, В. М. Голяшкин. – Оpubл. 1981-15-06. – 3 с.

4. Изобретение SU1771860 МПК: В21К1/30. Способ получения зубчатых колес / Д. И. Дмитриевич, А. А. Ластовенко, Е. М. Макушок. – Оpubл. 1992-30-10. – 4 с.

Получено 27.02.2017

5. Пат. US3739459 МПК: E02D5/04 E02D5/28, В23К31/02. Method of manufacture of a ribbed pile / A. Otani. – Оpubл. 1973-06-19. – 6 с.

6. Пат. RU2107652 МПК: В01J19/32, В21D13/04, В65Н45/20. Устройство для изготовления косопрессированной ленты и способ изготовления косопрессированной ленты / Филип Зюесс, Артин Бэр, Ксавер Штекли. – Оpubл. 1998-03-27. – 10 с.

7. Заявка на изобретение РФ 2015153632 МПК В21d5/00; В21d53/28. Способ формообразования зубчатого венца / Г. Ю. Волков, С. А. Киселев. Заявл. 14.12.2015.

8. http://encyclopaedia.bid/википедия/Флексагон#cite_note-5

9. *Гарднер Мартин*. Математические головоломки и развлечения = Mathematical Puzzles and Diversions / пер. Ю. А. Данилова ; под ред. Я. А. Смородинского. – Изд. 2-е. – М. : Мир, 1999. – ISBN 5-03-003340-8.

10. *Pook Les*. Serious Fun with Flexagons: A Compendium and Guide. – 2009 edition (August 17, 2009). – Springer. – 346 с. – ISBN 978-90-481-2502-9.

11. Там же.

12. *Кан И*. Аномальные флексагоны // Квант. – 1992. – № 10. – С. 57–59.

13. http://encyclopaedia.bid/википедия/Флексагон#cite_note-5

14. Пат. US3739459 МПК: E02D5/04 E02D5/28, В23К31/02. Method of manufacture of a ribbed pile.

15. Заявка на изобретение РФ 2015153632 МПК В21d5/00; В21d53/28. Способ формообразования зубчатого венца.

УДК 621.791.92 : 621.81

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-47-51

Г. С. Горбунов, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

К. С. Морозов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

С. Д. Соловьев, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ НАПЛАВКИ

Н азначение наплавки – ремонт восстановлением размеров изношенных и бракованных деталей, а также изготовление новых деталей с заданными характеристиками за счет расплавления присадочного материала и его нанесения на рабочую или изношенную поверхности. Трудности, с которыми сталкивается технолог при разработке технологии наплавки, обусловлены большим количеством способов наплавки, многовариантностью режимов проведения процесса, применяемых присадочных и других вспомогательных материалов, условиями производства, количеством, формой и размерами наплавляемых деталей, величиной износа их поверхностей.

Наряду с широко известными способами сварки за последнее время разработаны новые, такие как СМТ, ВКЗ, *STT*-процесс и др. [1], реализующие различные системы управления каплепереносом рас-

плавленного электродного металла на свариваемые кромки за счет модулирования сварочного тока, которые также могут применяться в технологическом процессе наплавки. Поэтому обеспечение специалистов производства современными сведениями об основных характеристиках, достоинствах и недостатках процессов позволит ориентироваться в выборе способов и технологий наплавки для решения конкретных производственных задач.

Цель работы – анализ технико-экономических показателей способов наплавки в технологическом цикле производства.

В технологическом цикле производства можно выделить следующие направления применения наплавки (см. рисунок).

1. Ремонтное производство. Наплавка применяется для восстановления исходных размеров изношенных или поврежденных деталей. Если наплавляемый