

УДК 621.914.6; 621.9.025; 621.9.022.2
DOI: 10.30987/article_5c486cc3f241a5.46542352

А.С. Ямников, д.т.н.
(ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92),
Д.П. Волков, к.т.н.
(ООО Производственное предприятие Мехмаш, г. Тула, Новомосковское шоссе, 58)
E-mail: yamnikovas@mail.ru; dreamslider@mail.ru

Модификация схемы резания у червячных фрез для формообразования многозаходных винтовых выступов на прессовой оправке

Описана прогрессивная технология формообразования винтовых канавок на внутренних цилиндрических поверхностях с применением операции прессования через кольцевую матрицу на винтовой прессовой оправке. Представлены исследования и даны предложения по совершенствованию процесса зубофрезерования винтовых выступов на оправках с помощью фрез с модифицированной схемой резания.

Ключевые слова: винтовые прессовые оправки; червячные фрезы; модифицированная схема резания; износ инструмента; режущие кромки.

A.S. Yamnikov, Dr. Sc. Tech.
(FSBEI HE Tula State University, 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)
D.P. Volkov, Can. Sc. Tech.
(PC Manufacturing Company Mechmach, 58, Novomoskovskoye Highway, Tula)

Cutting procedure modification in hob cutters for multiple-thread spiral projection shaping on mandrel

An efficient technology for helical groove shaping on inner cylindrical surfaces with the use of a pressing operation through a ring matrix on a spiral press mandrel is described. There are presented investigations and offers are given to update spiral projection gear milling in mandrels with the aid of milling cutters with a modified cutting procedure.

Keywords: spiral press mandrels; hob cutters; modified cutting procedure; tool wear; tool tips.

Введение

В машиностроении приходится, в некоторых случаях, изготавливать детали, имеющие форму цилиндра, на внутренних поверхностях которого выполнены углубления в виде наклонных разнонаправленных винтовых канавок (рис. 1).

Пересекающиеся канавки 2 создают сетку ромбов 3, распределенных на внутренней поверхности корпуса 1 изделия. Пересекающиеся канавки обеспечивают требуемое дробление корпуса при повышении давления во

внутреннем объеме.

Винтовые впадины наносят обжатием заготовки корпуса изделия на винтовой оправке через кольцевую матрицу на прессе [1]. Зубья винтовой прессовой оправки, имеющие треугольную форму в нормальном сечении, расположены по винтовой линии на его цилиндрической поверхности. В работе [1] не обоснованы требования к конструкции винтовой оправки, поэтому в работах [2 – 4] создана методика расчета диаметров инструмента для получения цилиндрических заготовок и параметров многозаходных винтовых выступов.

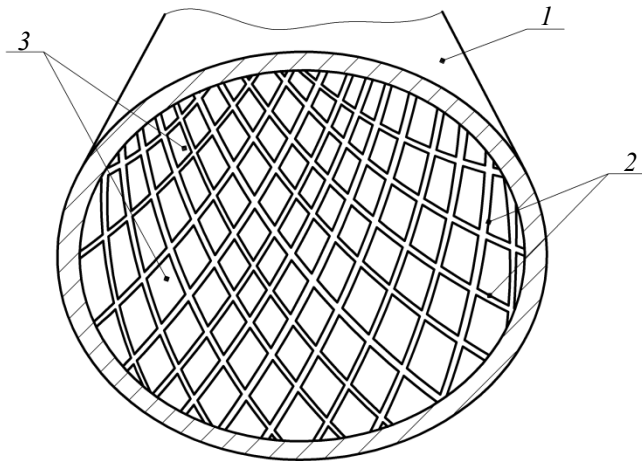


Рис. 1. Схема расположения впадин на внутренней поверхности

Винтовые оправки имеют большую длину, в несколько раз превышающую их диаметр, и зубья, расположенные по всей длине их рабочей части. Эти качества приближают их по технологии изготовления к шлицевым валам и косозубым зубчатым колесам.

В работах [5 – 9] рассмотрены технологические аспекты изготовления винтовых пресовых оправок. В работе [9] отмечается, что для формообразования многозаходных винтовых поверхностей на пресовых оправках, предназначенных для получения винтовых канавок на внутренних поверхностях оболочек, наиболее эффективным для всех типов производства является фрезерование методом обката червячными фрезами.

Разработка модифицированной схемы резания

При нарезании зубчатых профилей червячными фрезами так же, как и при нарезании зубострогальными резцами, задействованы две или три режущие кромки лезвия [6]. Процессы резания и образования стружки имеют некоторые отличия при обработке зубьев червячной фрезой и трапецидальным резцом. Но общие принципы стружкообразования позволяют исследовать этот процесс для червячных фрез, взяв за основу рассмотренный ранее процесс снятия стружки трапецидальным резцом [6].

Износ зубьев червячных фрез происходит как по передней, так и по задней поверхности (рис. 2). В ходе работы на передней поверхности образуются лунки. Она наиболее выражена на вершинной кромке, снижая ее прочность [10]. На входной кромке также присутствует

лунка, но она менее выражена, чем на вершинной. На выходной кромке можно наблюдать только следы износа. Крайне интенсивный износ по вершинной кромке свидетельствует о тяжелых условиях работы и стружкообразования.

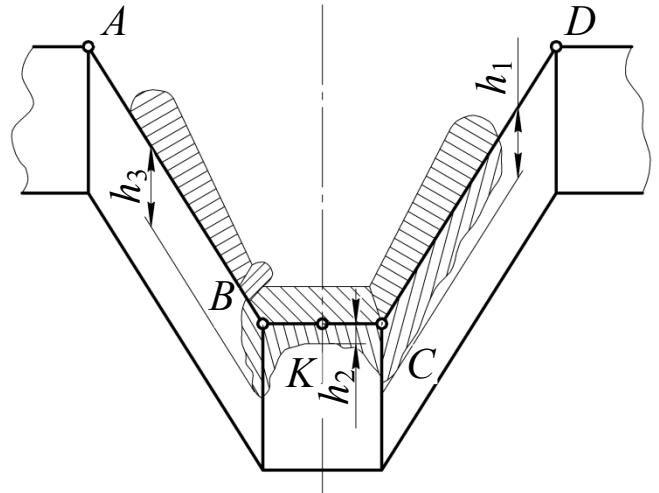


Рис. 2. Распределение износа по задней и передней поверхностям червячной фрезы

По задней поверхности большой износ наблюдается по входящей кромке, которая хоть и срезает меньшие по толщине слои, чем вершинная, но имеет меньшие задние углы и более интенсивную деформацию срезаемого слоя. Наиболее сильно изнашивается задняя поверхность у выходной вершинной кромки. На рис. 3 изображены кривые износа по задним поверхностям входной h_1 , вершинной h_2 и выходной h_3 режущих кромок зубьев фрезы в характерных точках (см. рис. 2).

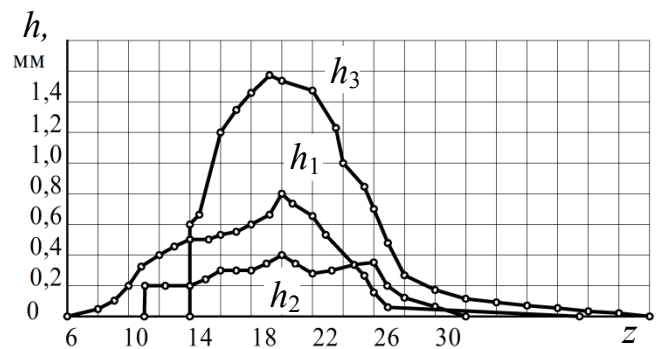


Рис. 3. Степень износа задней поверхности зубьев червячной фрезы

Сопоставление графиков на рис. 3 показывает неравномерность износа зубьев, в зависимости от его расположения на витке и неравномерность износа задних поверхностей

относительно друг друга.

Подобный износ может наблюдаться, если слой, срезаемый выходной кромкой червячного инструмента, меньше радиуса скругления режущих кромок. В этом случае резания не будет, а будет происходить вдавливание металла в обрабатываемую поверхность, сопровождаемое большим давлением на заднюю поверхность режущей кромки. Но такого рода износ не может быть объяснен таким образом, так как при сошлифовывании участков, не участвовавших в резании (зубья 16, 18, 20, 22), был получен удвоенный износ по зубьям 15, 17, 19 и 21.

Аналогично с нарезанием впадин трапецидальным резцом [6], при резании червячным инструментом может образовываться как монолитная стружка, так и с разрывом. В большинстве случаев при срезании стружки зубьями червячной фрезы толщины стружек будут не одинаковыми со стороны входной и выходной кромки. В результате этого происходит отклонение схода стружки от нормали к режущим кромкам. При этом в зависимости от толщины стружки деформация по режущим кромкам так же будет отличаться.

Даже при незначительном изменении угла схода стружки деформация слоя, срезаемого входной кромкой уменьшится и возрастет на выходной. Рост деформации вызывает давление на переднюю поверхность, что увеличивает износ, поэтому он на выходной кромке может быть больше, чем на входной кромке. Значительный износ передней и задней поверхности выходной кромки является следствием интенсивной деформации сдвига срезаемого слоя.

В отличие от трапецидального резца, стружка, срезаемая боковыми кромками зубьев фрезы не одинакова. Так, у входной кромки толщина стружки увеличивается к вершине зуба (рис. 4), а у выходной – к основанию.

Увеличенная толщина стружки у вершины входной кромки способствует тому, чтобы воспринять силу, необходимую для сдвига слоя материала. При этом нормальные напряжения в зоне точки *C* меньше предела текучести, так как не происходит смятия по смежной боковой поверхности. Стружка имеет монолитный вид. Срезаемый слой подвергается только деформации сдвига, отсутствует смятие стружки, приводящее к разрушению кромок. Так как стружка имеет большую толщину, она отклоняется в сторону выходной кромки, уменьшая сдвиг и отодвигая лунку ближе к выходной кромке. Входная кромка

работает в относительно благоприятных условиях, износ по задней поверхности протекает медленнее.

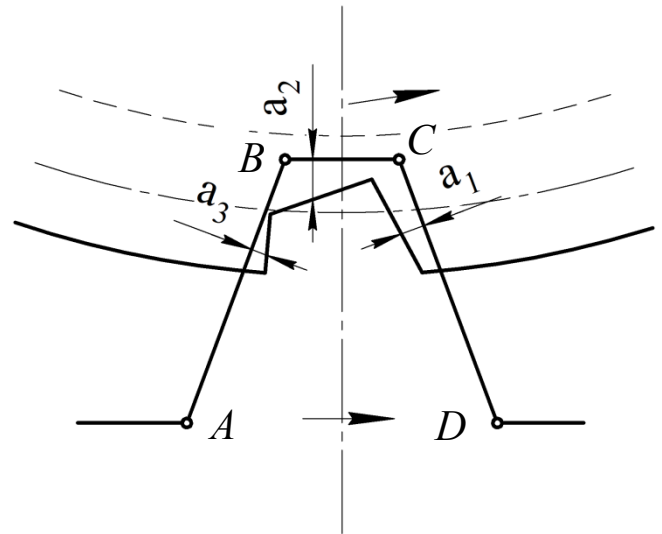


Рис. 4. Схема неравномерности толщины слоя, срезаемого зубьями фрезы

Обратная ситуация наблюдается на выходной кромке в районе точки *B*. Ее малая толщина у вершины способствует образованию разрыва стружки. В зоне взаимного давления стружек от вершинной и выходной кромок нормальные напряжения превышают предел текучести. Смежная с режущей кромкой боковая поверхность стружки сминается и разрывается, происходит отклонение ее схода от режущей кромки. Слой металла, срезаемый выходной кромкой, сильно деформирован, наибольшие деформации наблюдаются у смежной боковой поверхности. Так как более толстая стружка, срезаемая входной кромкой, отклоняет стружку от выходной кромки, то условия резания усложняются, деформация смятия в области сопряжения выходной и вершинной кромок возрастает.

В результате такого большого давления наблюдается повышенный, относительно других участков, износ. Следовательно, образование стружки с разрывом в рассмотренном участке ведет к тяжелым условиям обработки, прорыву режущей кромки, интенсивному износу поверхности и появлению локального износа, раньше времени приводящему к выходу инструмента из строя.

Исследования в области нарезания зубчатых профилей фрезами со скорректированными схемами резания показали, что их применение позволяет получить более точный профиль зубьев в сравнении со стандартными фрезами [10].

Эксперименты подтверждают повышение точности при применении вершиннонагруженной и прогрессивной схем резания относительно стандартной. С увеличением подачи наблюдается рост погрешности, однако, по сравнению со стандартными схемами, при применении измененных схем резания требуемую точность обработки можно достичь при большей подаче.

Установлено [10], что при некотором увеличении величины огранки при применении прогрессивной схемы резания, общая погрешность профиля окажется меньше, чем при применении стандартной схемы.

Применение вершиннонагруженной и прогрессивной схем резания практически не оказывает влияния на шероховатость поверхности, в отличие от направления подачи. При попутном фрезеровании для всех схем резания наблюдается снижение высоты микронеровностей. Наибольшее влияние направление подачи оказывает при обработке стандартными фрезами, и наименьшее – при обработке вершиннонагруженными и прогрессивными фрезами.

Исходя из сказанного, целесообразно применить для обработки винтовых многозаход-

ных канавок червячную однозаходную фрезу с прогрессивной схемой резания. Методика проектирования таких фрез, в том числе и для обработки впадин с прямолинейным профилем, как с прямолинейными, так и с винтовыми образующими, не имеет принципиальных отличий от проектирования стандартных фрез. Определение параметров этих фрез ведется по справочной литературе и общим рекомендациям, принятым на различных предприятиях. Но наличие модифицированных (одновременно зауженных и завышенных) зубьев у фрез с прогрессивной схемой резания привносит некоторые особенности в процесс их проектирования. Так, например, для сокращения трудоемкости изготовления фрез, число их зубьев принимаем четным: в рассматриваемом случае равным 14.

Рассчитав размеры зубьев фрезы с немодифицированным профилем, задаемся значениями завышения e_1 и заужения на сторону e_2 высотных зубьев по табл. 1 [10]. Величины этих параметров выбираются исходя из высоты зуба нарезаемого профиля, числа зубьев обрабатываемого изделия и числа заходов фрезы.

1. Значения завышения e_1 и заужения на сторону e_2 высотных зубьев

Высота зуба h , мм	Число зубьев, n	Номинальное завышение e_1 , мм		Номинальное заужение e_2 , мм	
		Однозаходная	Двухзаходная	Однозаходная	Двухзаходная
2,0...6,6	любое	0,20	0,30	0,15	0,20
7,0...8,8	15<	0,30	0,40	0,20	0,25
9,0...13,2	>15	0,20	0,30	0,15	0,20
13,2...15,4	15<	0,40	0,60	0,25	0,35
15,5...22,0	>15	0,30	0,40	0,20	0,25

Приведенные в табл. 1 значения получены эмпирическим путем для червячной фрезы с числом зубьев $z_0 = 12$. Они могут быть скорректированы в случае, если число зубьев проектируемой фрезы отличается от используемого в ходе проведения эксперимента. В этом случае указанные в таблице значения должны быть умножены на коэффициент K :

$$K = \frac{12}{z_0}$$

По результатам расчетов и, исходя из проведенных исследований, была разработана методика и спроектирована червячная однозаходная фреза для обработки винтовой оправки с прогрессивной схемой резания (табл. 2, рис. 5, рис. 6).

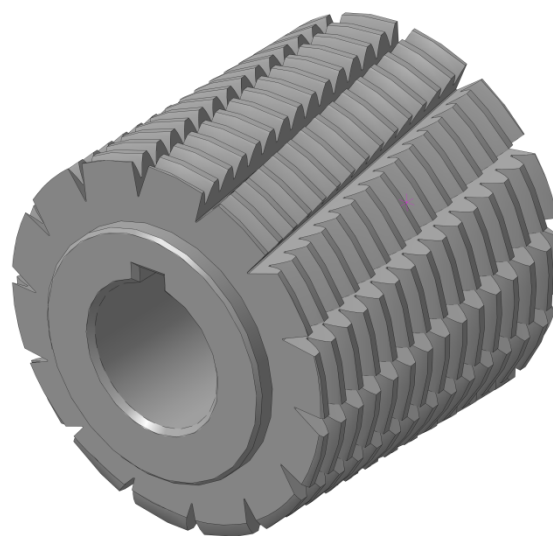


Рис. 5. 3D – модель червячной однозаходной фрезы с прогрессивной схемой резания

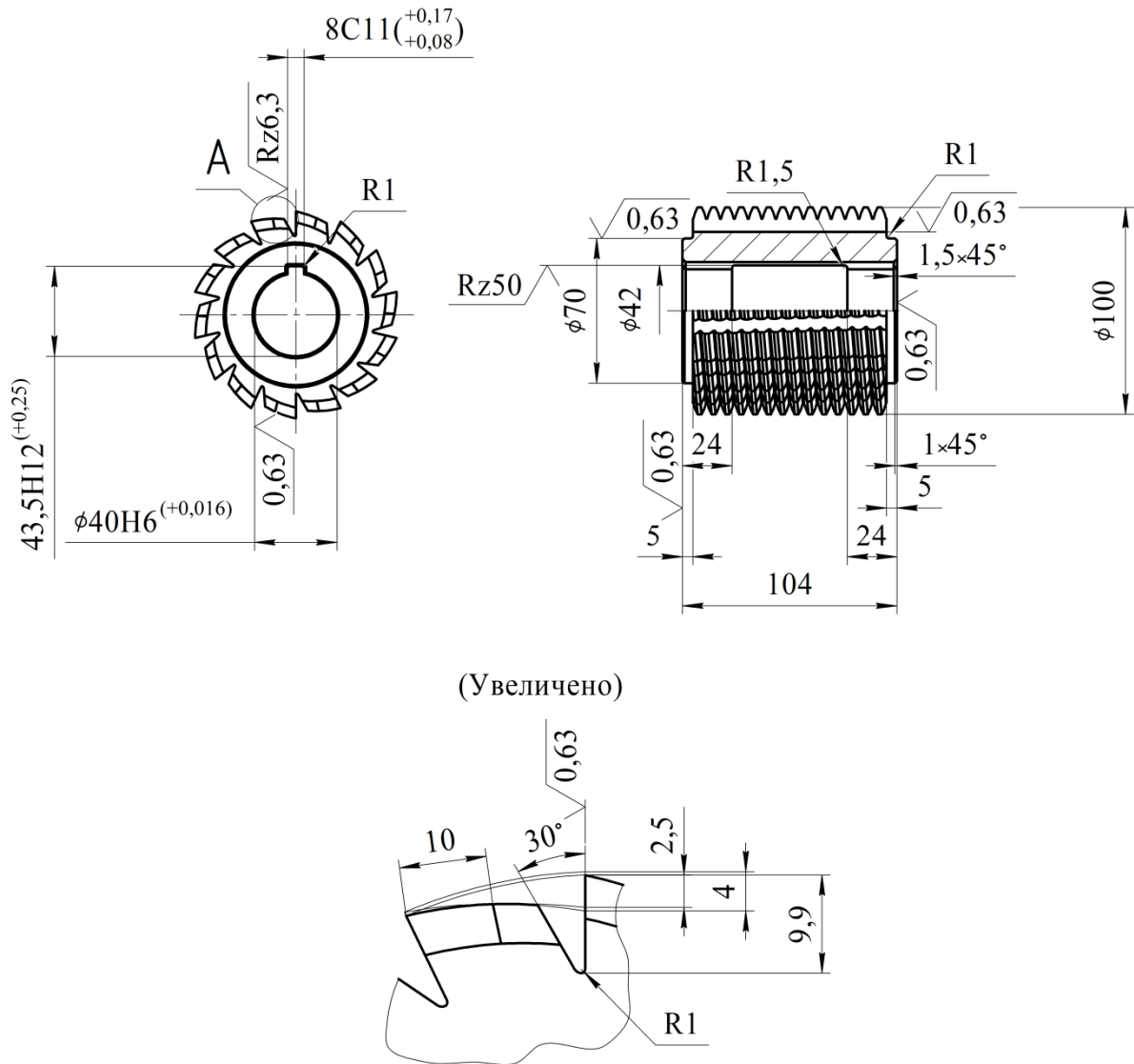


Рис. 6. Конструкция червячной однозаходной фрезы с прогрессивной схемой резания

2. Конструктивные параметры червячной однозаходной фрезы с прогрессивной схемой резания

Ход витков	P_z	7,964
Направление витков	-	правое
Начальный диаметр фрезы	d_{0H}	94,122
Угол подъема витков на начальном цилиндре	λ_H	$1^\circ 25' 12''$
Направление стружечных канавок	-	левое
Число стружечных канавок	z_Φ	14
Отклонение осевого шага между тремя зубьями	f_{px0}	0,036
Угол наклона стружечных канавок на начальном цилиндре	ω	$1^\circ 25' 12''$
Угол установки оси фрезы при обработке винтовой оправки	λ_H	$31^\circ 25' 12''$
Класс точности	-	B
Отклонение от прямолинейности передней поверхности на рабочей высоте зуба	f_γ	0,050
Разность соседних окружных шагов стружечных канавок	f_{u0}	0,050
Накопленная погрешность окружных шагов стружечных канавок	f_{p0}	0,100
Отклонение направления стружечных канавок на длине 100 мм	f_x	$\pm 0,100$
Отклонение профиля фрезы по нормали	f_{f0}	$\pm 0,015$
Отклонение винтовой линии на одном обороте	f_{h0}	0,025
Отклонение осевого шага	f_{px0}	$\pm 0,018$

Заклучение

В производстве с любым объемом выпуска для нарезания канавок целесообразно использовать многолезвийные инструменты червячного типа.

Для достижения положительного эффекта при обработке канавок этими инструментами необходимо разработать новые рациональные схемы резания, конструкции режущих инструментов и оснастки.

Применение прогрессивной схемы резания червячными фрезами с модифицированными зубьями снижает силы резания, повышает стойкость инструмента, улучшает точность обработки и качество получаемой поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2248514 РФ, МПК7 В 42F 12/24. Корпус осколочного боеприпаса / Анпилогов О.А., Казаков И.В., Кузнецов В.П., Макаровец Н.А., Рожков В.В., Серегин Н.А.; заявитель и патентообладатель Серегин Н.А. - № 2001122099; заявл. 09.08.01; опубл. 20.03.05, Бюл. №8. - 9 с.
2. Волков, Д.П. Повышение точности формообразования многозаходных винтовых выступов на прессовой оправке: дис. ... канд. техн. наук. - Тула, - 2012. - 210 с.
3. Ямников, А.С., Волков, Д.П., Маликов, А.А. Формообразование многозаходных винтовых выступов на прессовой оправке: монография. - Тула: Изд-во ТулГУ. 2016. - 141 с.
4. Волков, Д.П., Ямников, А.С. Методика расчета диаметров инструмента для получения цилиндрических заготовок // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. - 2010. - Ч 1. - С. 140-146.
5. Волков, Д.П., Ямников, А.С. Технологическое обеспечение качества винтовых прессовых оправок // Вестник машиностроения. - 2016. - № 3. - С. 55-58.
6. Ямников, А.С., Волков, Д.П. Влияние угла профиля передней поверхности резца на степень деформации сдвига // Научно-технические технологии в машиностроении. - 2017. - №6 (72). - С. 14-20.
7. Ямников, А.С., Волков, Д.П. Изготовление винтовых выступов на пуансоне // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - № 4/3 (288). - С. 99-104.
8. Волков, Д.П., Ямников, А.С. Технологические аспекты изготовления и контроля винтовых пуансонов //

Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - № 6-2 (290). - С. 66-72.

9. Волков, Д.П., Ямников, А.С. Комплексная технология изготовления винтовых прессовых оправок // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: в 2 ч. - 2012. - Ч 1. - С. 292-298.

10. Медведицкий, С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. - М.: Машиностроение, 1981. - 105 с.

REFERENCES

1. Pat. 2248514 RF, IPC7 B 42F 12/24. Fragmentation ammunition shell / Anpilogov O.A., Kazakov I.V., Kuznetsov V.P., Makarovets N.A., Rozhkov V.V., Seregin N.A.: Seregin N.A. - applicant and patent holder - 2001122099; applied: 09.08.01; published 20.03.05, *Bull. No.8.* - pp. 9.
2. Volkov, D.P. Accuracy increase in multi-thread spiral projection shaping on press mandrel: *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree.* Tula, - 2012. - pp. 210.
3. Yamnikov, A.S., Volkov, D.P., Malikov, A.A. *Multi-Thread Spiral Projection Shaping on Press Mandrel: monograph.* - Tula: Publishing House of TulaSU. 2016. - pp. 141.
4. Volkov, D.P., Yamnikov, A.S. Procedure for tool diameters computation to obtain cylindrical blanks // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences. Issue2: in 2 Parts* - 2010. - Part 1. - pp. 140-146.
5. Volkov, D.P., Yamnikov, A.S. Technological support of helical press mandrels quality // *Bulletin of Mechanical Engineering.* - 2016. - No.3. - pp. 55-58.
6. Yamnikov, A.S. Volkov, D.P. Profile angle impact of cutter front face upon shift deformation degree // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering.* - 2017. - No.6 (72). - pp. 14-20.
7. Yamnikov, A.S., Volkov, D.P. Helical projection manufacturing on punch // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology.* - 2011. - No.4/3 (288). - pp. 99-104.
8. Volkov, D.P., Yamnikov, A.S. Technological aspects in manufacturing and control of helical punches // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology.* - 2011. - No.6-2 (290). - pp. 66-72.
9. Volkov, D.P., Yamnikov, A.S. Complex technology in manufacturing helical press mandrels // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences. Issue 11: in 2 Parts* - 2012. - Part1. - pp. 292-298.
10. Medveditskov, S.N. *High-Performance Gear Cutting with Millers.* - M.: Mechanical Engineering, 1981. - pp. 105.

Рецензент д.т.н. А.С. Янюшкин