

## KASTRIUK A.P. Choice of processing bases for edge cutting machining of machine part being restored

We suggest qualitative and quantitative methods for choosing and changing processing bases for edge cutting machining of repair workpieces in parts repair processes. Implementation of the production results allows to reduce the amount of work relating to the application of restoration coatings or the use of additional parts components with standard values of surfaces position geometric parameters.

УДК 621.73.01

Алифанов А.В., Калугин Ю.К., Демянчик А.С.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШТАМПОВКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Малопроизводительные процессы изготовления зубчатых колес резанием, требующие использования высококвалифицированного персонала, дорогостоящих станков и инструмента, а также вызывающие большие потери металла, нуждаются в коренном улучшении. Поиски новых технологических приемов проводятся главным образом в направлении использования методов пластического формообразования. Опыт применения методов обработки металлов давлением для изготовления самых разнообразных деталей машин подтверждает возможность использования его для изготовления конических зубчатых колес.

При применении пластического формообразования требуемая форма и размеры детали придаются не за счет удаления излишков металла, а путем его перераспределения. Поэтому этим процессам не присущи многие недостатки. Прежде всего, при пластическом формообразовании металл упрочняется. На изделии образуется поверхностный упрочненный слой, имеющий повышенные механические характеристики (предел прочности, предел текучести, твердость). В результате деформации во внешних слоях детали создаются сжимающие напряжения, весьма благоприятные при работе в условиях изгиба, истирания и повышенных нагрузок.

Важным достоинством процессов обработки металлов давлением являются также стабильность размеров изделий и высокая стойкость инструмента. В процессе формообразования не образуются отходы. Это создает благоприятные условия для автоматизации процессов обработки металлов давлением. При пластическом формообразовании чистота поверхности целиком зависит от чистоты поверхности инструмента. Она полностью переносится на изделие и поэтому здесь она более высокая, чем при резании. Кроме того, на изделиях нет полос и других следов инструмента, которые являются концентраторами напряжений и причиной снижения прочности.

В настоящее время известно большое количество способов получения деталей с зубчатой поверхностью путем пластической деформации. Это методы штамповки, прессования, накатки и другие.

Все способы пластического формообразования зубчатых венцов в зависимости от характера взаимодействия инструмента и изделия в процессе работы могут быть разделены на два принципиально различных класса. Это способы формообразования, в основу которых положен принцип копирования – здесь конфигурация изделия получается путем оттиска. К таким процессам относятся штамповка, прессование (выдавливание) через цельную жесткую матрицу, а также вырубка в листовых штампах.

Существуют также технологические приемы, при которых зубья получаются за счет пластического течения металла, в результате сообщаемого инструменту и изделию движения обката. Зубчатый венец при этом получается как образующая последовательных положений поверхностей инструмента при его рабочем движении – к таким процессам относится накатка.

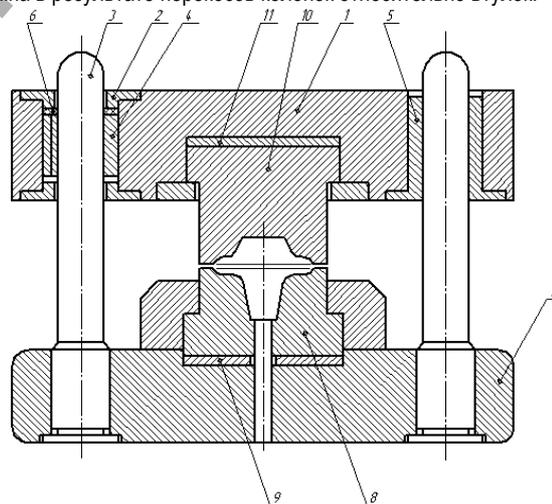
При выборе методов пластического формообразования конических зубчатых колес следует учитывать, что рациональными являются только размерно-чистовые методы формообразования, при которых

полностью отсутствует необходимость в последующей обработке зубьев резанием. Это объясняется тем, что последующая обработка отформованных начерно зубьев связана с большими трудностями ввиду необходимости точной установки заготовки относительно инструмента, наличия на зубьях упрочненной поверхности [1].

Существующие на сегодняшний день конструкции штампов с разъемными матрицами нерационально использовать при штамповке точных поковок конических колес, поскольку они обладают рядом существенных недостатков: недостаточно жесткая связь верхней и нижней плит при помощи колонок и втулок; нетехнологичность деталей механизмов зажима полуматриц; сложная кинематика механизмов зажима полуматриц [2].

С целью устранения вышеуказанных недостатков, общих для большинства штампов с разъемными матрицами, в данной работе предложено несколько новых конструкций штампов.

В известных штампах при штамповке деталей, вследствие неравномерного нагрева верхней и нижней плит или непараллельности колонок, между осями отверстий втулок и осями колонок возникает разница в межосевом расстоянии. В этих случаях гарантированного зазора между колонками и втулками недостаточно для компенсации разности удлинения плит за счет нагрева. В предлагаемом штампе (рис. 1) колонка 3, контактируя с втулкой-эксцентриком 4, поворачивает ее на некоторый угол относительно центра. Это позволяет компенсировать разницу в межосевом расстоянии между колонками и осями отверстий втулок и устранить опасность заклинивания штампа в результате перекосов колонок относительно втулок.



1 – верхняя плита штампа; 2, 5, 6 – втулки; 3 – направляющая колонка; 4 – втулка-эксцентрик; 7 – нижняя плита штампа; 8 – нижняя полуматрица; 9 – нижняя матричная подкладка; 10 – верхняя полуматрица; 11 – верхняя матричная подкладка

Рис. 1. Штамп, оснащенный эксцентричной втулкой

Алифанов Александр Викторович, д.т.н., профессор кафедры «Оборудование и автоматизация производства» Барановичского государственного университета, заведующий отделом Физико-технического института НАН Беларуси.

Калугин Юрий Константинович, к.т.н., заведующий кафедрой «Оборудование и автоматизация производства» Барановичского государственного университета.

Демянчик Александр Сергеевич, преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производства» Барановичского государственного университета.

Беларусь, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

В данном штампе (рис. 1) предусмотрены две направляющие колонки 3 и две втулки 4 и 5. Независимо от числа колонок и втулок в штампе одна из втулок должна быть неэксцентричной, а все другие – эксцентричными. Наличие в штамповом пакете двух неэксцентричных втулок может привести к задирам колонок и к заклиниванию штампа. В случае выполнения всех втулок в виде эксцентриков, верхняя плита 1 получит дополнительную степень свободы, что приведет к ухудшению качества поковок.

К недостаткам связи плит штампа при помощи колонок и втулок, из которых все (кроме одной) эксцентричны, следует отнести: относительный поворот плит при повороте эксцентриковых втулок. Однако угол поворота мал и заранее задан, поэтому указанный недостаток не влияет на связь плит штампа при помощи колонок с эксцентричными втулками. Такую связь можно рекомендовать для любых штампов с разъемными полуматрицами. Незначительное повышение стоимости изготовления эксцентриковых втулок и установка их в плиту окупятся за счет более высокого качества большей надежности работы штампа.

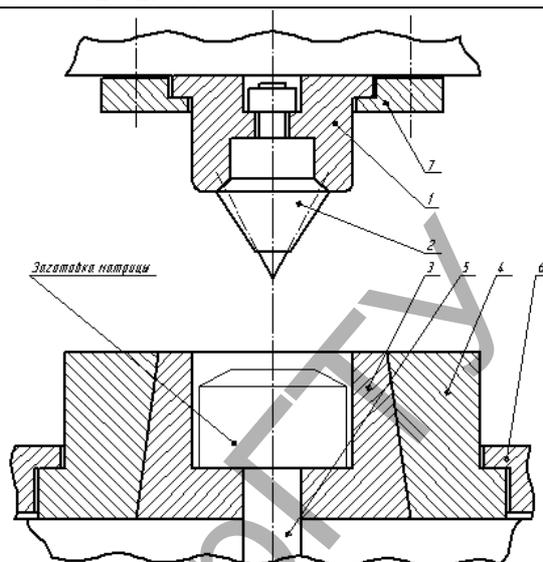
Данный вид штампа можно использовать для штамповки деталей из компактных и порошковых материалов, особенно целесообразно использовать для штамповки конических и цилиндрических колес, имеющих высокие ступицы.

Для получения высокоточных конических шестерен необходимо прежде всего изготовить высокоточные конусные матрицы, с помощью которых на последующих операциях будут получены и конические шестерни соответствующей точности.

Для получения конусных матриц в данной работе использовали метод обратного выдавливания с подчеканкой торца заготовки. В качестве инструмента для выдавливания использовали зубчатый мастер-пуансон из стали Р6М5 с профилем, идентичным профилю будущей конической шестерни. Заготовку при этом нагревали до температур 750 °С, 900 °С и 1100 °С.

Конструкция экспериментального штампа для выдавливания конусных матриц приведена на рисунке 2. Заготовку 6 помещали в контейнер 3, закрепленный бандажом 4 на столе прессы. Затем заготовку деформировали пуансоном 2, который с помощью держателя 1 был закреплен на ползуне прессы. Нижний торец держателя подчеканивал заготовку в конце хода ползуна прессы и далее отштампованную заготовку удаляли из полости контейнера 3 выталкивателем 5.

В качестве компенсаторов избыточного металла использовали полости между держателем 1 и впадинами зубьев на зубчатом венце пуансона у основания большого конуса. Заготовки для матриц изготавливали из сталей Р6М5, 3Х2В8 и стали 45. В результате экспериментов установлено, что наиболее полное заполнение гравюры происходит при выдавливании конусных матриц, изготовленных из стали 3Х2В8. Качество формообразования зубьев матриц зависит от формы исходной заготовки. В результате выдавливания конусных матриц из заготовок разных форм (рис. 3, а) были получены матрицы, приведенные на рисунке 3, б.

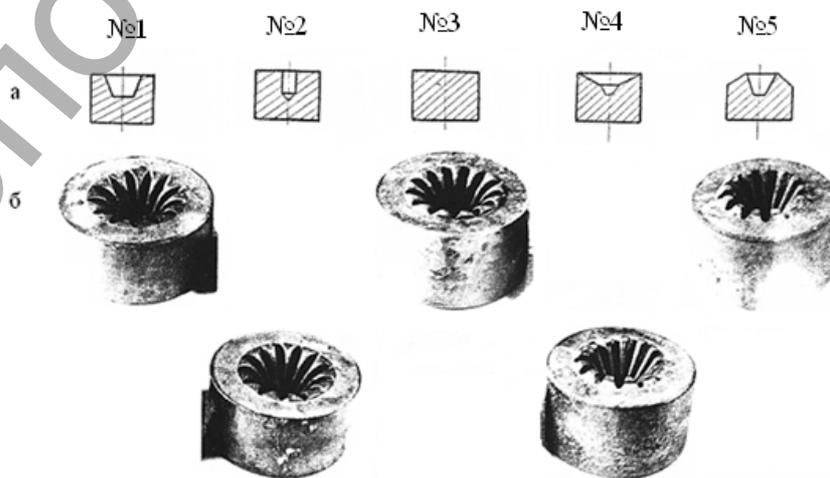


1 – держатель; 2 – пуансон; 3 – контейнер; 4 – бандаж; 5 – выталкиватель; 6 – крепление бандаж; 7 – крепление пуансонодержателя  
**Рис. 2.** Экспериментальный штамп для выдавливания конусных матриц

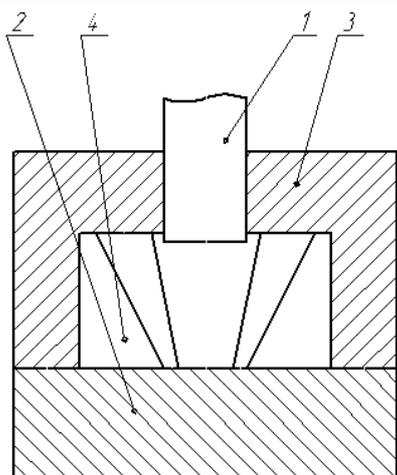
Заготовка №1 представляла собой цилиндр с коническим глухим отверстием, заготовка №2 – с засверленным цилиндрическим глухим отверстием, заготовка №3 – сплошной цилиндр, заготовка №4 – цилиндр с коническим углублением по всей поверхности заготовки, а заготовка №5 – цилиндр с коническим глухим отверстием и фаской по краям заготовки.

Из рисунка 3, б следует, что зубья у основания конуса матриц, при любой из приведенных на рисунке 3, а форм заготовок, отформовались вполне удовлетворительно. Из-за недостаточной мощности прессы у основания большого конуса при выдавливании матриц из заготовок номеров 1, 2, и 3 заполнение было неполным. Хорошие результаты получили при выдавливании матриц из заготовок под номером 5.

Для контроля качества гравюры матриц, полученных выдавливанием при различных температурах, с каждой матрицы после очистки от окалины снимали негативный отпечаток с помощью свинца. Отпечатки получали в приспособлении (рис. 4) выдавливанием свинца пуансоном 1 в матрицу 4, размещенную в контейнере 3 и прижатую к нему с помощью крышки 2. Торцевали отпечатки на токарном станке в оправке, представленной на рисунке 5. Плоскости «Б» и «В» оправки служили базой при установке на станок. Колебания диаметра мастер-пуансона по большому конусу после торцовки не превышали 0,05 мм.



а) формы заготовок для выдавливания конусных матриц; б) матрицы, полученные из соответствующих заготовок  
**Рис. 3.** Заготовки различной формы для получения конических матриц и полученные из них изделия



1 – пуансон; 2 – крышка; 3 – контейнер; 4 – матрица

Рис. 4. Приспособление для получения свинцового отпечатка с матрицы

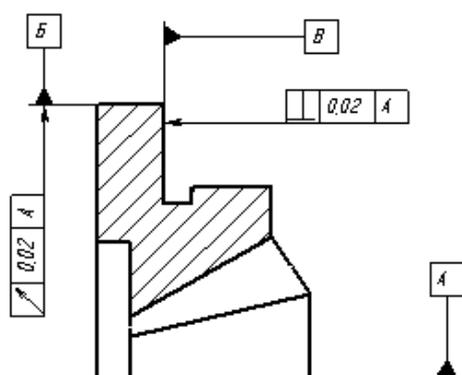
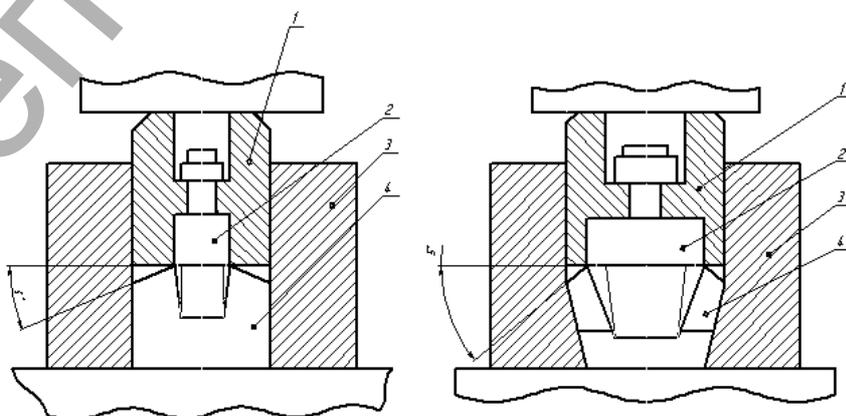


Рис. 5. Оправка для обработки отштампованных шестерен на токарном станке

С целью установления корреляционной связи влияния исполнительных размеров деформирующего пуансона на размеры профиля матриц, получаемых выдавливанием, измеряли размеры зубьев на свинцовых отпечатках по диаметру, уменьшенному на величину тепловой усадки измеряемого диаметра мастер-пуансона.

Чтобы исключить влияние высоких температур, матрицы подвергали холодной калибровке пуансоном, имеющим профиль, идентичный штампуемой конической шестерне. Матрицы калибровали в приспособлении, приведенном на рисунке 6, на гидравлическом прессе. Замеры показали, что профиль калиброванных матриц совпадает с профилем пуансона.

После калибровки и токарной обработки с помощью оправки с



1 – пуансонодержатель; 2 – пуансон; 3 – контейнер; 4 – матрица

Рис. 6. Приспособления для холодной калибровки матриц на гидравлическом прессе

зубчатым профилем матрицы подвергали термообработке и затем измеряли по отпечаткам (рис. 7). Аналогичные замеры производили после шлифовки и бандажирования.

Из рисунка 7 видно, что зависимость толщины зубьев конических матриц для всех представленных случаев имеет практически одинаковый характер. Шестерни, отштампованные в таких матрицах по измеряемым параметрам, удовлетворяли разработанным техническим условиям.

На заключительной операции, проделанной в данной работе, была получена экспериментальная партия конических шестерен.

Конические шестерни штамповали на прессе К-2130 в штампах с разъемными матрицами (см. рис. 1). Материал для изготовления шестерен – сталь 20Х. В качестве основного инструмента для получения конических зубчатых колес использовали матрицы, полученные по технологии, приведенной выше. Нагрев заготовок перед штамповкой осуществляли в индукторе на установке МГЗ-102. Штамповку шестерен производили при температурах 750 °С, 900 °С и 1100 °С. Было опробовано несколько форм заготовок, показанных на рисунке 8, а. На рисунке 8, б показаны конические шестерни, полученные из соответствующих заготовок.

Исследования показали, что оптимальной формой заготовки с точки зрения качества штампемых изделий и трудоемкости изготовления самих заготовок является форма под номером 6. Шестерни, отштампованные из заготовок, очищали от окалины и подвергали механической обработке, которая заключалась в торцовке по большому конусу на один и тот же размер по диаметру и расточке внутреннего отверстия. Всю обработку проводили на токарном станке в матрице-оправке (рис. 6). Зубья отштампованных шестерен измеряли штангензубомером и при помощи проектора сравнивали с зубьями свинцовых отпечатков с той же матрицы и таким же диаметром большого конуса. Колебания диаметров шестерен и свинцовых отпечатков были в пределах 0,05 мм и контролировались с помощью кольцевых калибров. Результаты замеров показаны на графике (рис. 9).

Из рисунка 9 видно, что с увеличением температуры штамповки толщина зубьев шестерни в области их ножки возрастает, а в области головки зубьев изменений практически не происходит. Результаты измерения толщин зубьев у шестерен, отштампованных при различных температурах, приведены в таблице 1.

Отклонения толщин зубьев, отштампованных шестерен по хорде делительной окружности приблизительно соответствуют 8-9 степени точности. Причем ножки зубьев отштампованных шестерен примерно на 0,1–0,2 мм полнее соответствующих размеров зубьев на пуансоне, следовательно, и на эталонной шестерне.

Шестерни контролировали при обкатке с эталонной шестерней в беззазорном зацеплении. Максимальное отклонение индикатора и максимальная погрешность за оборот составляли 0,15 мм, а для эталонной пары – 0,10 мм.

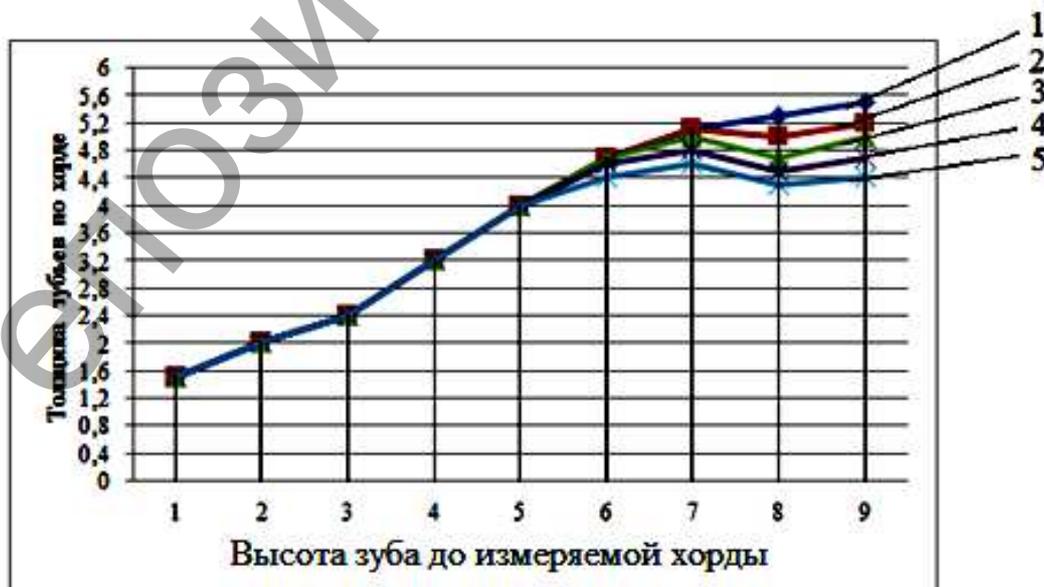
При расточке отверстия в шестернях, базируемых в матрице-оправке, в случае не совсем точного совпадения зубчатых гравюр шестерни и матрицы, возможна погрешность, причем эта погрешность



1 – мастер-пуансон; 2 – отпечаток с матрицы, прошедшей термообработку; 3 – отпечаток с матрицы после бандажирования  
 Рис. 7. Графики зависимости толщин зубьев конусных матриц, замеренных по свинцовым отпечаткам после термообработки и бандажирования



Рис. 8. Формы заготовок для штамповки конических шестерен (а) и полученные из них конические шестерни (б)



1 – мастер-пуансон; 2 – свинцовый отпечаток с матрицы; 3 – шестерни, штампованные при температуре 750 °С; 4 – шестерни, штампованные при температуре 900 °С; 5 – шестерни, штампованные при температуре 1100 °С

Рис. 9. Графики зависимости толщин зубьев конических шестерен, полученных штамповкой на одной матрице, от температуры штамповки

Таблица 1. Толщина зубьев по хорде делительной окружности отштампованных шестерен

Температура штамповки	Номер шестерни	Толщина зубьев по хорде на высоте 2,52 мм												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
750	1	3,96	4,0	4,02	4,04	4,05	4,02	3,98	4,0	4,0	4,02	4,04	3,96	4,0
	2	4,06	4,04	4,06	3,98	3,96	4,0	4,02	4,04	4,01	4,02	4,0	3,98	3,96
	3	4,0	4,02	4,04	4,0	4,0	3,98	3,95	3,96	4,0	4,01	4,02	3,98	4,0
900	1	4,06	4,1	4,08	4,05	4,1	4,1	4,12	4,07	4,14	4,12	4,1	4,08	4,06
	2	4,08	4,06	4,03	4,00	4,04	4,02	4,05	4,06	4,02	4,08	4,06	4,04	4,0
	3	4,1	4,08	4,06	4,1	4,1	4,04	4,06	4,08	4,05	4,02	4,0	4,04	4,06
1100	1	4,04	4,08	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,08	4,08	4,08	4,06	4,04	4,04
	2	4,1	4,08	4,08	4,12	4,1	4,06	4,1	4,12	4,12	4,12	4,1	4,04	4,04
	3	4,16	4,1	4,12	4,14	4,14	4,14	4,14	4,1	4,12	4,1	4,1	4,12	4,14

тем больше, чем больше несовпадение гравюр. Для ликвидации этой погрешности необходимо добиться, по возможности, более полного совпадения гравюры матрицы-оправки и отштампованных шестерен.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность использования разработанных экспериментальных штампов для получения высокоточных конических зубчатых колес с учетом полученных выводов и предлагаемых рекомендаций.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короткевич, В.Г. Проектирование инструмента для пластического деформирования: учеб. пособие / В.Г. Короткевич; под ред. С.Б. Сарело. – Минск: Вышэйшая школа, 2000. – 383 с.
2. Журавлев, А.З. Основы теории штамповки в закрытых штампах / А.З. Журавлев. – Москва: Машиностроение, 1973. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.12

## ALIFANOV A.V., KALUGIN YU.K., DEMYANCHIK A.S. Development and research of technology and equipment for stamping of high-precision conic cogwheels

The article describes several types of stamps that are recommended for the manufacture of bevel and cylindrical gears. A detailed description of the experimental die tooling for high-taperabove, including for conical matrix to squeeze through these matrices bevel gears and their calibration.

Results on the effect form blanks used as for matrices, and for the manufacture of bevel gears in them, the quality of the obtained products. The recommendations on the optimization of the entire process of manufacturing high precision bevel gears.

УДК 621.983.044

Алифанов А.В., Попова Ж.А., Демянчик А.С.

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ НОЖЕЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Одной из основных задач, стоящих перед деревообрабатывающей промышленностью, является повышение эффективности производства и качества изготавливаемой продукции. Высокопроизводительная и качественная механическая обработка древесины и древесных материалов во многом зависит от применяемого инструмента. Достижение высоких показателей возможно при соблюдении определенных условий использования дереворежущего инструмента: правильного выбора инструментального материала, конструкции, угловых параметров, рациональных режимов резания. Дереворежущие инструменты работают при весьма высоких скоростях резания (до 100 м/с), а лезвия их режущих элементов (зубьев, ножей) имеют относительно малые углы заострения (20–60 градусов) и высокую остроту (радиус округления режущих кромок находится в пределах 5–10 мкм). В связи с этими особенностями предъявляются повышенные требования к материалам, из которых изготавливается инструмент.

Материалы современных дереворежущих инструментов должны обладать следующими качествами: высокой твердостью, обеспечивающей хорошую сопротивляемость износу; необходимой пластичностью, чтобы инструменты могли противостоять ударным нагрузкам при работе; хорошей обрабатываемостью (способностью затачиваться до высокой остроты режущих кромок), что в совокупности обеспечивает высокие эксплуатационные свойства инструмента.

Подбор высокопрочной инструментальной стали всегда связы-

вают со стремлением обеспечить высокую стойкость инструмента, в частности, износостойкость. Используемые в настоящее время различные способы повышения ресурса инструментов (специальная термообработка, напыление, искровое легирование, лазерная обработка, ионное азотирование и т.д.) требуют применения дорогостоящего оборудования, иногда экологически небезопасного, специальной обработки упрочняемых поверхностей, дорогих высокопрочных порошков; после их применения зачастую необходимо дополнительно подвергать упрочненные поверхности шлифованию. В этой связи определенный интерес представляет метод упрочнения стальных изделий магнитно-импульсным воздействием.

Учеными Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси и Барановичского государственного университета разработана новая технология повышения прочностных свойств стальных изделий путем обработки сильным импульсным электромагнитным полем. При таком воздействии устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, изменяется и становится более однородной структура металла [1].

Преимуществом магнитно-импульсной обработки по сравнению с другими известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры и качество поверхности обработанных изделий не меняются, не требуются дополнительные операции термообработки, шлифования, а сам процесс отличается низким энергопотреблением,

Попова Жанна Александровна, преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производства», аспирантка Барановичского государственного университета.

Беларусь, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.