

УДК 621.92; 621.35

*Наведено порядок розробки планетарної голівки, що дозволяє здійснювати глибинне шліфування важкооброблюваних матеріалів, на прикладі дослідно-промислового зразка для верстата 3E711. Розроблено конструкцію чотирьохшпіндельної планетарної шліфувальної голівки для кругів діаметром 80 мм. Показано схеми обробки із застосуванням розробленого пристрою й представлені режими різання*

*Ключові слова: шліфування, глибинне шліфування, планетарно-шліфувальний інструмент, адсорбційно-пластифікуючий ефект, важкооброблювані матеріали*

*Приведен порядок разработки планетарной головки, позволяющей осуществлять глубинное шлифование труднообрабатываемых материалов, на примере опытно-промышленного образца для станка 3E711. Разработана конструкция четырехшпиндельной планетарной шлифовальной головки для кругов диаметром 80 мм. Показаны схемы обработки с применением разработанного устройства и представлены режимы резания*

*Ключевые слова: шлифование, глубинное шлифование, планетарно-шлифовальный инструмент, адсорбционно-пластифицирующий эффект, труднообрабатываемые материалы*

*Reduced order of working out of the epicyclic head, allowing to realise a creep feed grinding, hard-to-machine materials, on an example of the trial sample for the machine tool 3E711. Four-spindle an epicyclic grinding head the construction is developed for wheels in diameter of 80 mm. Circuits of handling with application of the designed device are displayed and cutting conditions are presented*

*Keywords: grinding, a creep feed grinding, epicyclic-grinding tool, adsorption-plasticization effect, hard-to-machine materials*

# СОЗДАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНО- ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н.В. Сурду**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*

Контактный тел.: 8 (0572) 94-15-21

E-mail: surdu@ipmach.kharkov.ua

**А.А. Тарелин**

Доктор технических наук, доцент, заведующий отделом\*

Контактный тел.: 8 (0572) 95-96-09

E-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua

**А.В. Телегин**

Младший научный сотрудник\*

Контактный тел.: 8 (0572) 95-96-09

E-mail: telegin\_a@mail.ru

\*Отдел общетехнических исследований в энергетике

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного

НАН Украины

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, 61046

**А.Г. Фистик**

Главный технолог

ГП НПКГ «Зоря-Машпроект»

пр. Октябрьский, 42А, г. Николаев, 54018

Контактный тел.: 8 (0512) 49-40-20

E-mail: agf@zorya.com.ua

## 1. Введение

Энергоемкость процесса стружкообразования при шлифовании во многом зависит от обеспечения условий для адсорбционно-пластифицирующего эффекта

(АПЭ), механизм которого рассмотрен в работах [1, 2] В работе [3] разработаны критериальные требования, обеспечение которых необходимо для проявления АПЭ при абразивном диспергировании материалов, и показано, что применяемые на практике режимы

шлифования не обеспечивают их выполнения. Было установлено также [4, 5] что для обеспечения критеральных требований необходимо усовершенствование кинематики процессов формообразования как криволинейных [6, 7], так и плоских поверхностей [8, 9] с использованием планетарных шлифовальных инструментов.

Исследования [10, 11, 12], проводимые в этом направлении, показывают, что использование планетарных шлифовальных головок (ПШГ) [9, 13, 14] позволяет повысить производительность обработки по сравнению с глубинным шлифованием (ГШ) в 1,5...3 раза и обеспечить качество обработанной поверхности в условиях применения малого количества (5...10 мл/мин) простых СОТС.

Обеспечение рациональных условий процесса планетарного шлифования включает создание и совершенствование планетарного инструмента и выбор режимов обработки, при которых качество обрабатываемой поверхности соответствует техническим требованиям и обеспечивается высокая производительность при минимальной ее себестоимости.

На этапе разработки устройств для планетарного шлифования должны быть обеспечены как кинематические требования, заложенные в основу способов планетарной обработки [3], так и специфические особенности конструкции шлифовального оборудования.

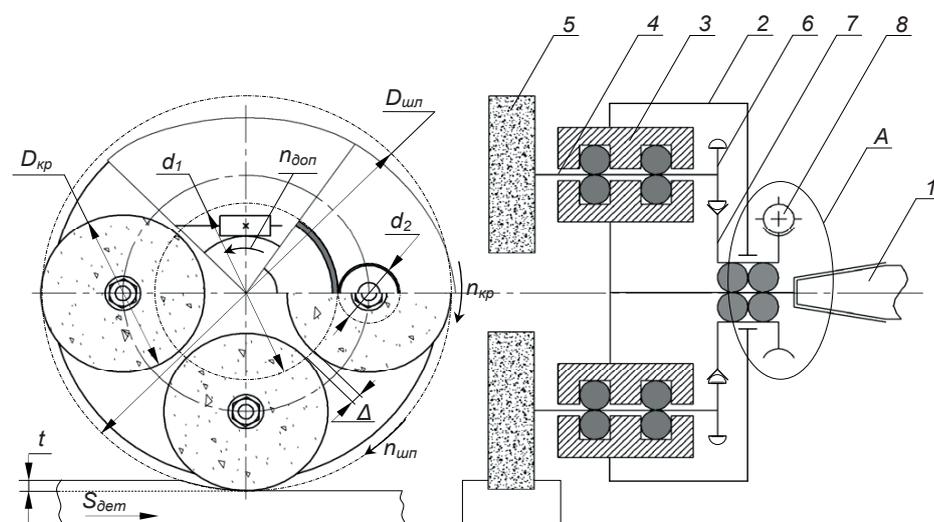


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема планетарно-шлифовальной головки  
 1 - шпиндель станка, 2 - корпус, 3 - сателлитные шпиндели, 4 - валы,  
 5 - шлифовальные круги, 6 - сателлитные ролики, 7 - солнечное колесо, 8 - червяк,  
 А - узел дополнительного вращения солнечного колеса

Кинематика способов планетарной обработки подробно рассмотрена в работах [8, 15, 16].

В [5] предложена конструктивно-компоновочная схема планетарно-шлифовальной головки для шлифования плоских и плоско-фасонных поверхностей (рис. 1) и определены соотношения (1) - (4), обеспечивающие повышение эффективности протекания процесса.

$$\frac{d_1}{d_2} \leq \frac{l_p - 2\sqrt{D_{кр} \cdot 0_z}}{4\sqrt{D_{кр} \cdot 0_z} - l_p} \cdot \frac{D_{шп}}{D_{кр}} - 1, \quad (1)$$

$$n_{шп} \leq \frac{60}{\Delta\tau_x \cdot n_{сат}}, [\text{об/мин}] \quad (2)$$

$$n_{доп} = \frac{n_{шп}}{2\pi} \arccos\left(1 - \frac{2t}{D_{шп}}\right), [\text{об/мин}] \quad (3)$$

$$S_{дет} \leq \frac{1}{120} \frac{a_{zMAX} \cdot D_{шп} \cdot n_{шп} \cdot n_{доп}}{t \sqrt{\frac{D_{шп}}{t} - 1}}, [\text{мм/мин}] \quad (4)$$

где  $d_1, d_2$  – диаметры солнечного и сателлитных колес;

$l_p$  – среднее расстояние между режущими абразивными зёрнами, расположенными друг за другом в одной плоскости вращения ( $l_p = 2...7$  мм);

$D_{кр}$  – диаметр шлифовального круга;

$a_z$  – глубина шлифования единичным абразивным зерном;

$D_{шп}$  – диаметр шлифования;

$n_{шп}$  – скорость вращения шлифовальной головки;

$\Delta\tau_x$  – латентный период времени развития АПЭ,

$\Delta\tau_x \sim 10^{-2}$  с [3];

$n_{сат}$  – количество сателлитных абразивных элементов;

$n_{доп}$  – скорость вращения солнечного колеса;

$t$  – глубина шлифования;

$S_{дет}$  – подача детали;

$a_{zMAX}$  – предельно допустимая глубина шлифования единичным абразивным зерном ( $a_z = 1...10$  мкм).

Выполнение неравенства (1), обеспечивает перекрытие единичных срезов и дает возможность доступа среды к ювенильным участкам обработанной поверхности. Назначение скорости вращения ПШГ по (2), дает время, равное латентному периоду развития хемосорбционных процессов на ювенильных поверхностях. Придание дополнительного подворота солнечному колесу согласно (3), исключает взаимодействие сателлитного абразивного элемента с обрабатываемой заготовкой

одним и тем же участком рабочей поверхности. При назначении рабочей подачи по формуле (4), толщина стружки, снимаемая каждым режущим зерном за проход, не будет превышать предельно допустимой величины  $a_{zMAX}$ , при которой обеспечиваются наиболее благоприятные условия работы абразивного инструмента с точки зрения его размерной стойкости, износоустойчивости и прочности.

**2. Моделирование износа режущих абразивных элементов**

Целью моделирования является определение рациональных значений дополнительного подворота солнечного колеса  $n_{доп}$  для достижения равномерного износа планетарных абразивных элементов, в зависимости от конструктивных и режимных параметров процесса планетарного шлифования.

Задача моделирования включает исследование влияния передаточного отношения  $i$ , глубины шлифования  $t$ , и скорости регулируемого подворота солнечного колеса  $n_{доп}$ , на картину износа планетарных абразивных элементов.

Оценка величины и характера износа производится по распределению дуг контакта на рабочей поверхности абразивных планетарных элементов входе их взаимодействия с заготовкой. Для нахождения величин дуг контакта необходимо знать диаметр шлифования  $D_{шл}$ , который зависит от диаметра планетарных абразивных элементов  $D_{кр}$ , зазора между планетарными абразивными элементами  $\Delta$ , количества сателлитных абразивных элементов  $n_{сат}$  и диаметра водила  $D_B$  (5):

$$D_B = \frac{D_{кр} + \Delta}{\sin \frac{\pi}{n_{сат}}}, [мм] \tag{5}$$

$$D_{шл} = D_B + D_{кр} \cdot [мм] \tag{6}$$

Угловой размер дуги контакта планетарного абразивного элемента определяется из соотношения:

$$\varphi = i_{\phi} \cdot \arccos \left( 1 - \frac{2t}{D_{шл}} \right), \tag{7}$$

где фактическое значение передаточного отношения  $i_{\phi}$  зависит от скорости регулируемого подворота солнечного колеса  $n_{доп}$

$$i_{\phi} = \left( 1 + \frac{n_{доп}}{n_B} \right) i \tag{8}$$

и диаметральных размеров солнечного  $d_1$  и сателлитных колес  $d_2$ :

$$i = \frac{d_1}{d_2} + 1. \tag{9}$$

Подставляя (8) и (9) в (7) получаем:

$$\varphi = \left( 1 + \frac{n_{доп}}{n_B} \right) \left( 1 + \frac{d_1}{d_2} \right) \cdot \arccos \left( 1 - \frac{2t}{D_{шл}} \right). \tag{10}$$

Для определения взаимного расположения дуг контакта на рабочей поверхности сателлитных абразивных элементов находим угол  $\psi$ , на который повернется планетарный абразивный элемент после одного оборота ПШГ:

$$\psi = 360 \cdot i_{\phi} \tag{11}$$

На основании приведенной модели в среде Borland Pascal, создана программа, позволяющая визуализировать картину наложения дуг контакта. Моделирование проводили для устройства ПШГ с четырьмя сателлитными абразивными элементами  $n_{сат}=4$ , диаметром кругов  $D_{кр} = 80$  мм и диаметром водила  $D_{шл} = 193$  мм. На рисунках представлены картины наложения дуг контакта после 50 оборотов ПШГ в зависимости от передаточного отношения  $i$  (рис. 2), глубины шлифования  $t$  (рис. 3), и скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$  (рис. 4).

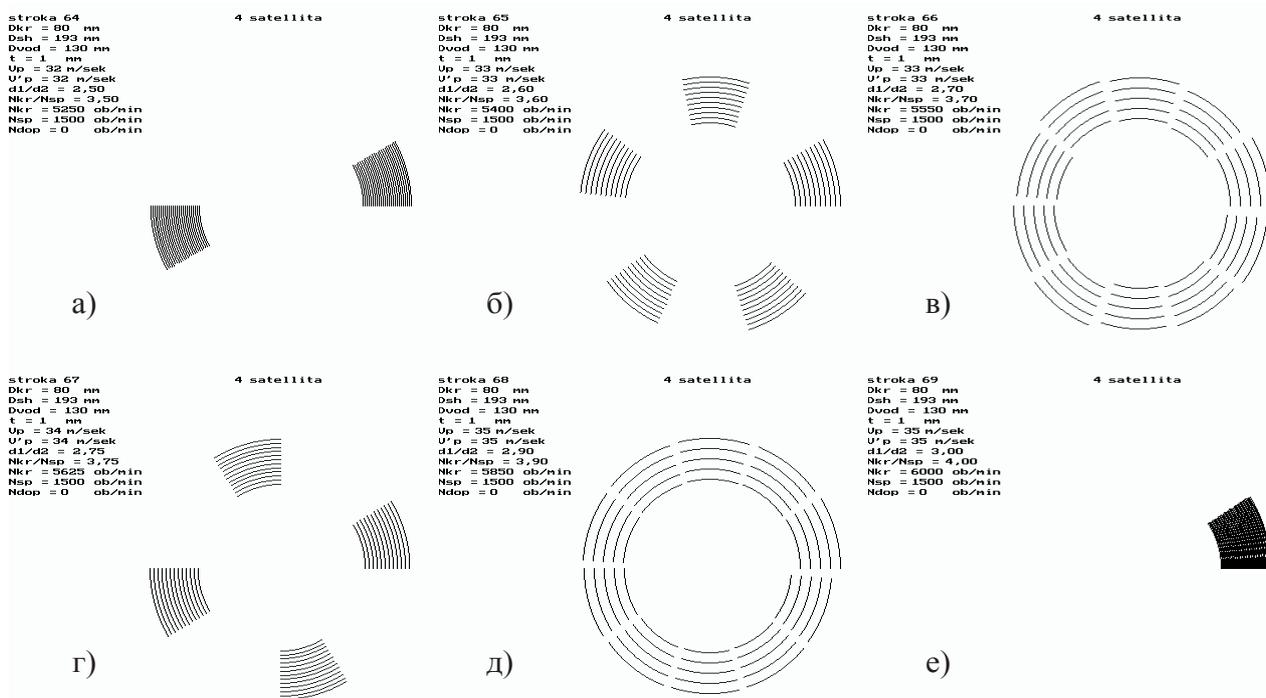


Рис. 2. Картины наложения дуг контакта в зависимости от передаточного отношения  $i$

При сравнении картин для передаточных отношений  $i = 3,5 \dots 4,5$  выявлено, что картины совпадают для  $i = 3,5; 4,5; i = 3,6; 3,8; 4,2; 4,4; i = 3,7; 4,3; i = 3,75; 4,25; i = 3,9; 4,1$ . Передаточное отношение  $i$  оказывает существенное влияние на взаимное расположение дуг контакта. Картины неоднородного распределения дуг контакта наблюдаются вблизи целых и дробных чисел, кратных 0,2 и 0,25 (рис. 2 а, б, г, е). Поэтому недопустимо использование передаточных отношений со значениями близкими к числам кратным 0,2 и 0,25, без использования дополнительного подворота солнечного колеса. На величину дуги контакта передаточное отношение  $i$  оказывает менее значительное влияние.

При изменении  $i$  от 3,5 до 4,5 величина дуги контакта  $\phi$  увеличилась с  $28,9^\circ$  до  $37,1^\circ$ .

Глубина шлифования  $t$  существенно влияет на величину дуги контакта, которая растет от  $25^\circ$  при  $t = 0,5$  мм (рис. 3 а) до  $115^\circ$  при  $t = 10$  мм (рис. 3 д). Таким образом, увеличение длины дуги контакта при глубинах резания более 5 мм, способствует равномерному износу сателлитных абразивных элементов. В тоже время глубина шлифования  $t$  не влияет на расположение дуг контакта на рабочей поверхности и поэтому не может являться управляющим фактором для оптимизации картины износа, особенно при малых глубинах обработки.

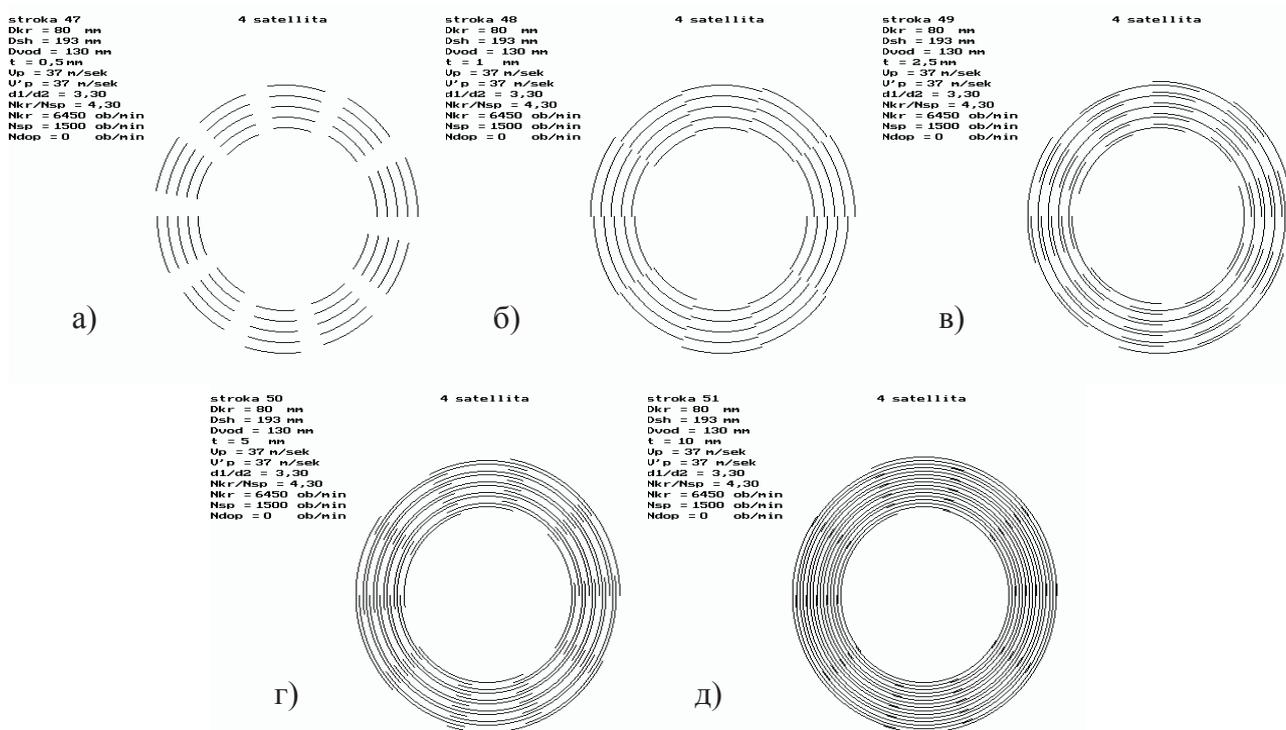


Рис. 3. Картины наложения дуг контакта в зависимости от глубины шлифования  $t$

Величина дополнительного подворота  $n_{доп}$ , незначительно влияя на длину дуги контакта, позволяет в широких пределах управлять перекрытием дуг контакта. Сообщение дополнительного подворота солнечному колесу в 10 об/мин приводит к прямо пропорциональному смещению дуг контакта на  $10,5^\circ$ . При исследовании, наряду с благоприятными картинками износа (рис. 4 а, б, в, г, е), были выявлены картины существенно неравномерного износа с односторонним взаимодействием сателлитных абразивных элементов и заготовки (рис. 4 д). Такое неблагоприятное перекрытие дуг контакта наблюдается при условии, что угол подворота обеспечивает целое количество дуг контакта режущей окружности абразивного элемента. Математически это выражается неравенством (12):

$$\psi \neq \frac{360}{n}, \quad (12)$$

где  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

С учетом (8), (9) и (11) можем записать

$$\left(1 + \frac{n_{доп}}{n}\right) \left(1 + \frac{d_1}{d_2}\right) \neq \frac{1}{n} \quad (13)$$

С другой стороны, для равномерного расположения дуг контакта встык друг за другом с  $n$  сторон сателлитного абразивного элемента, необходимо, чтобы угол подворота обеспечивал расположение на режущей окружности  $n+1$  дугу контакта, что выражается равенством (14):

$$\psi = \frac{360 - \phi}{n}, \quad (14)$$

где  $n = 2, 3, 4, 5, 6$ .

С учетом (8), (9), (10) и (11) можем записать:

$$\left(1 + \frac{n_{доп}}{n}\right) \left(1 + \frac{d_1}{d_2}\right) \left(360 \cdot n + \arccos\left(1 - \frac{2t}{D_{шл}}\right)\right) = 360 \quad (15)$$

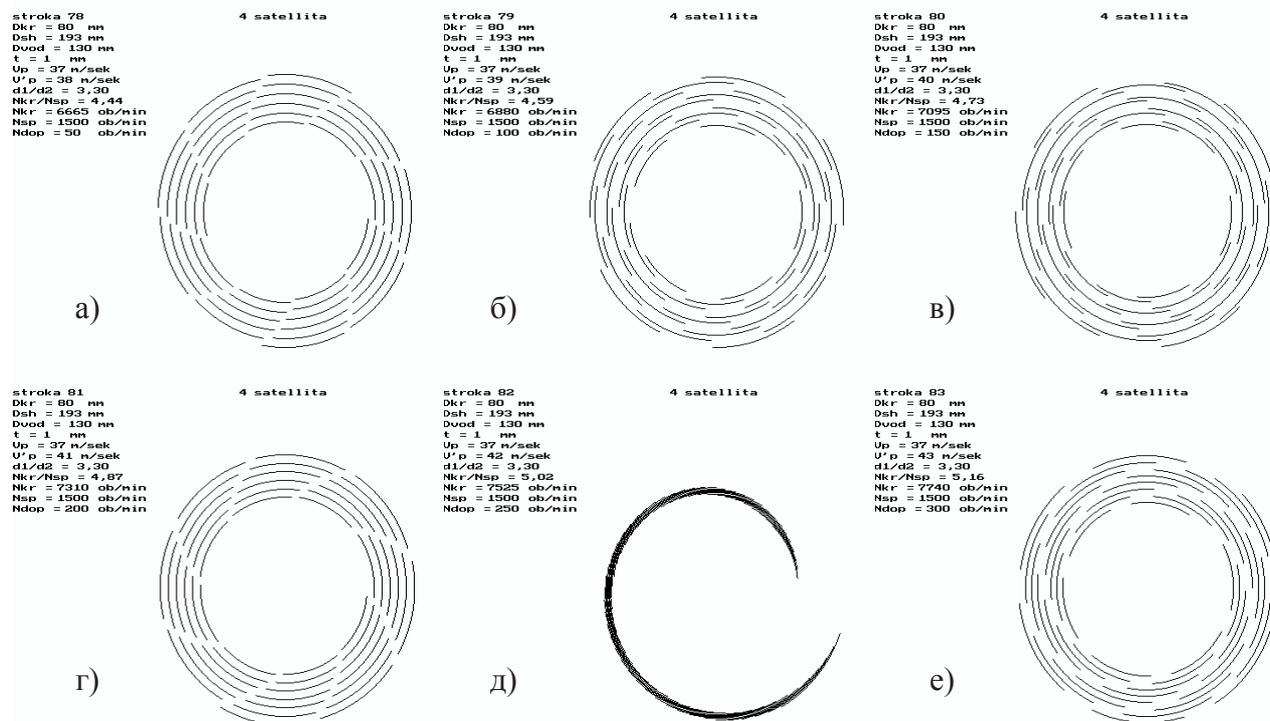


Рис. 4. Картины наложения дуг контакта в зависимости от скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$

Решения уравнения (15) для  $n = 2, 3, 4, 5, 6$  были проверены моделированием. Например, на рис.5 а-д, представлены картины наложения дуг контакта при равномерном износе сателлитных абразивных элементов с 6-ти, 5-ти, 4-х, 3-х и 2-х сторон соответственно, при глубине шлифования  $t = 0,5$  мм.

Для рассматриваемых конструктивных параметров ( $n_{cat} = 4, D_{кр} = 80$  мм,  $D_{шл} = 193$  мм) построена диаграмма для определения скорости подворота  $n_{доп}$ , обеспечивающий равномерный износ сателлитных абразивных элементов при различных глубинах шлифования (рис. 6). Решение равенства (15), может

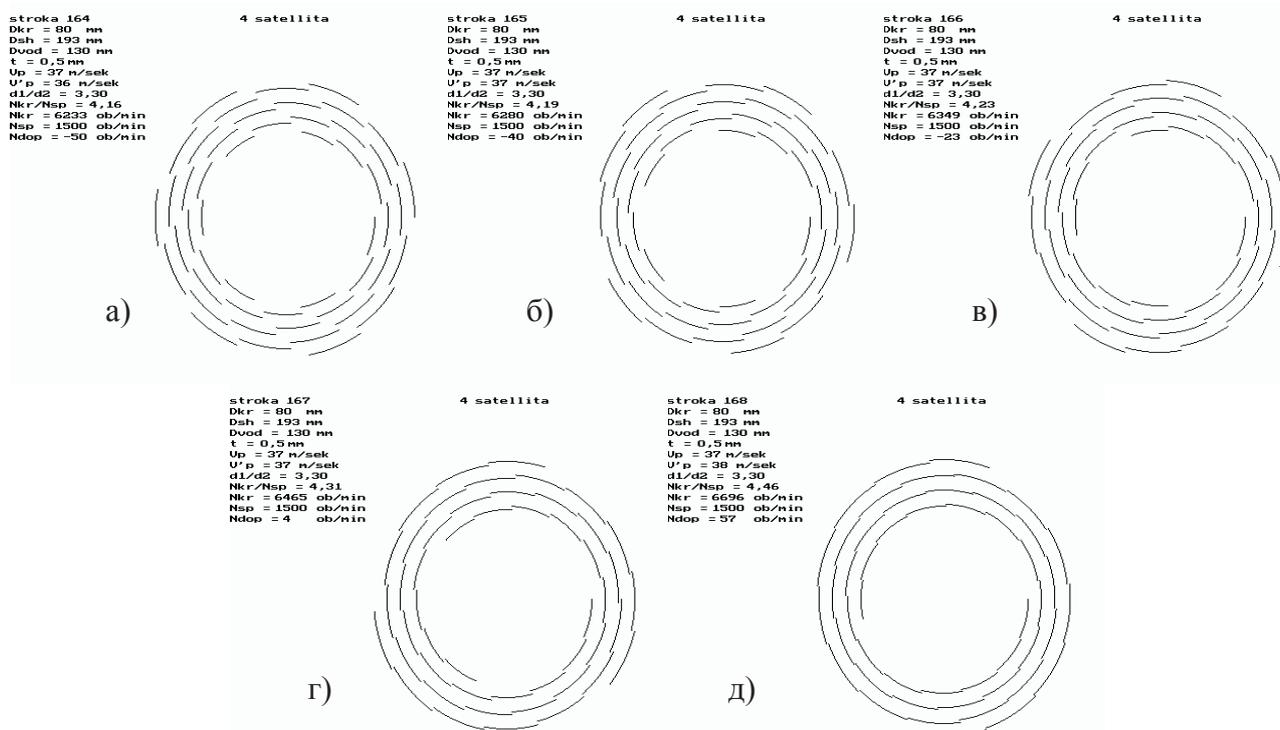


Рис. 5. Картины наложения дуг контакта, при скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$ , обеспечивающей равномерный износ

найдено при нескольких значениях  $n_{доп}$ . На диаграмме имеются решения в области  $n_{доп} = -64...57$  об/мин и  $n_{доп} = 281...403$  об/мин, картины износа при которых совершенно идентичны.

Положительные значения подворота  $n_{доп}$  увеличивают фактическую скорость резания  $V'_p$ , а отрицательные уменьшают.

Так, для первой области фактическая скорость резания, с учетом подворота, составляет  $V'_p = 36,1...38,3$  м/с, а для второй  $V'_p = 42,3...44,5$  м/с. На диаграмме также нанесены горизонтальные линии, значение  $n_{доп}$  на них соответствует существенно неравномерному износу сателлитных абразивных элементов. Такие значения  $n_{доп}$  не должны использоваться. При пересечении линий рекомендуемых значений  $n_{доп}$  и горизонтальных линий недопустимых значений  $n_{доп}$ , следует использовать рекомендуемые значения  $n_{доп}$ .

Проведенное моделирование показало, что применение дополнительного подворота позволяет управлять картиной износа сателлитных абразивных элементов.

Определены значения дополнительного подворота  $n_{доп}$ , обеспечивающие равномерный износ сателлитных абразивных элементов с 2-х – 6-ти сторон, с учетом передаточного отношения  $i$ , диаметра шлифования  $D_{шл}$ , скорости вращения ПШГ  $n_v$ , глубины шлифования  $t$ .

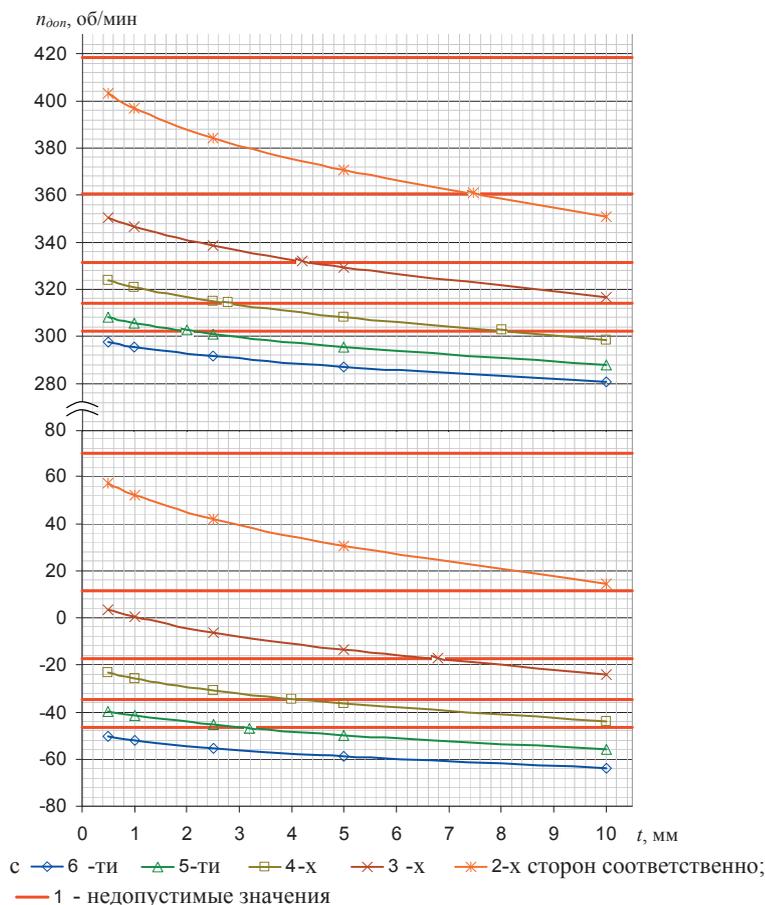


Рис. 6. Диаграмма для нахождения скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$ , обеспечивающей равномерный износ сателлитных абразивных элементов

Выявлены недопустимые значения скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$ . Результаты моделирования сведены в диаграмму для определения рекомендуемых и недопустимых значений скорости дополнительного подворота  $n_{доп}$ .

### 3. Основные требования к разрабатываемому устройству

На основании вышеизложенного можно сформулировать основные требования к конструкции разрабатываемой ПШГ.

1. Разрабатываемое устройство должно соответствовать кинематической схеме (рис. 1).

1.1 Количество сателлитных абразивных элементов принято

$$n_{сат} = 4,$$

а диаметр сателлитных абразивных элементов

$$D_{кр} = 80 \text{ мм},$$

что обеспечит требуемую стойкость абразивных элементов и удовлетворительные габаритно-массовые характеристики.

1.2 Передача вращения сателлитным шпинделям может осуществляться фрикционными или ременными передачами.

1.3 Механизм, дополнительного подворота солнечного колеса (см. рис. 1 (А)) может быть выполнен в виде червячной, фрикционной или ременной передачи.

2. Соотношения скоростей вращения.

2.1 Рабочая скорость вращения ПШГ назначенная по (2), для  $n_{сат} = 4$  и  $\Delta\tau_x = 10^{-2}$  с равняется

$$n_{шп} = 1500 \text{ об/мин.}$$

2.2 Соотношение диаметров солнечного колеса  $d_1$  и сателлитных роликов  $d_2$ , вычисленное по (1) для условий:  $D_{кр} = 80$  мм,  $az = 2,5...4,5$  мкм (зернистость 25÷63),  $D_{шл} = 210$  мм, должно быть менее:

$$d_1/d_2 < 3,37.$$

2.3 Скорость дополнительного непрерывного подворота солнечного колеса  $n_{доп}$ , как показали результаты моделирования, должна бесступенчато регулироваться в пределах  $n_{доп} = -100...420$  об/мин.

3. Используемые кинематические пары должны надежно обеспечивать передачу и равномерное разделение мощности  $N = 3$  кВт между сателлитными шпинделями в прерывистом режиме.

4. ПШГ должна обеспечивать установку шлифовальных кругов следующих типоразмеров по ГОСТ 2424-83:

– круги прямого профиля ПП (тип 1), масса  $m_{кр} = 0,12...0,21$  кг (рис. 7 а)

– круги прямого профиля с выточкой ПВ (тип 5), масса  $m_{кр} = 0,32...0,39$  кг (рис. 7 б)

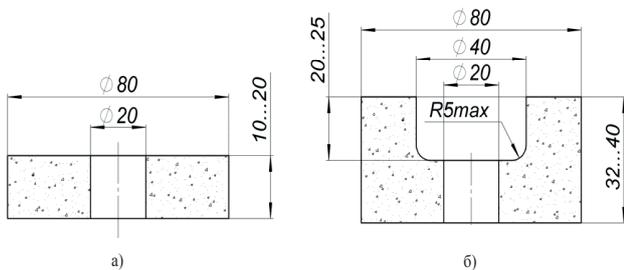


Рис. 7. Шлифовальные круги, используемые в качестве спутниковых абразивных элементов

5. Для предварительной правки, балансировки и взвешивания шлифовальные круги устанавливаются на спутниковые шпиндели на разъемных оправках (рис. 8). Конструкция посадочного узла должна обеспечивать совмещение торцов А шлифовальных кругов в пределах 0,01 мм.

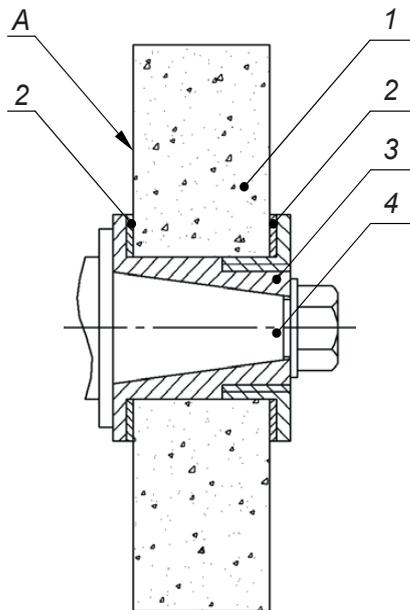


Рис. 8. Схема установки шлифовального круга на спутниковый шпindelь  
1 - шлифовальный круг, 2 - шайбы, 3 - разъемная оправка, 4 - спутниковый шпindelь

6. Все элементы конструкции должны обеспечивать ресурс работы ПШГ не менее 5000 часов.

7. Конструкция ПШГ должна предусматривать регулирование неуравновешенности вращающейся части головки по первому классу балансировки ГОСТ 22061-76.

8. Конструкция ПШГ должна предусматривать масляное охлаждение подшипниковых узлов спутниковых шпинделей.

9. Радиальное биение посадочных мест спутниковых шпинделей относительно шпинделя станка (посадочной поверхности ПШГ) не более 0,005 мм.

10. Защитный кожух ПШГ должен обеспечивать надежную защиту до скоростей резания  $V_p = 50$  м/с.

#### 4. Конструкция ПШГ для глубинного шлифования

На основании выше сформулированных требований, в конструкторском бюро нестандартной оснастки ГП НПКГ «Зоря-Машпроект» спроектирована опытно-промышленная ПШГ (рис. 9), предназначенная для установки на плоскошлифовальный станок модели 3Е711.

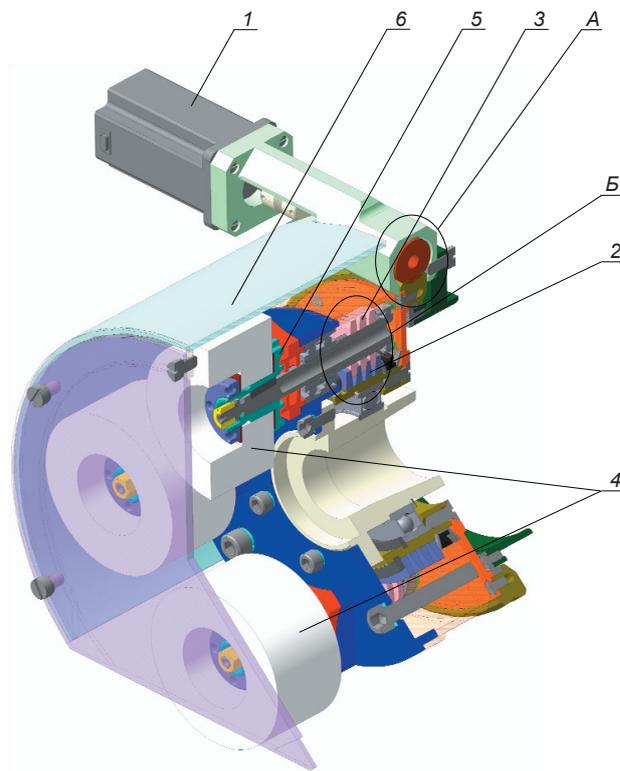


Рис. 9. Конструкция планетарно-шлифовальной головки

Передача вращения и мощности на спутниковые режущие элементы выполняется посредством планетарной передачи, выполненной в виде многодисковой фрикционной пары Б с регулируемым поджатием. Такая конструкция наряду с возможностью передавать значительную мощность, свойственную для операций глубинного шлифования, позволяет предотвратить элементы конструкции от разрушения в случае возникновения нерасчетных нагрузок.

Механизм, дополнительного подворота солнечного колеса выполнен в виде червячной передачи А, которая передает вращение от шагового двигателя 1. Такая схема обеспечивает бесступенчатое регулирование дополнительного подворота  $n_{доп} = -500...500$  об/мин.

Делительные диаметры приняты для солнечного колеса  $2 d_1 = 100$  мм, а спутниковых колес  $3 d_2 = 30$  мм. Это обеспечивает передаточное отношение  $n_{кр} / n_{шп} = 4,33$  и удовлетворяет неравенству (1).

Шлифовальные круги 4 с посадочным диаметром 20 мм, устанавливаются через коническую оправку 5 на спутниковые шпиндели, что обеспечивает повышенную точность установки. Защитный кожух 6 обеспечивает установку кругов высотой до 40 мм.

На корпусе ПШГ предусмотрены места для съема материала в процессе балансировки.

Полость головки и сателлитных подшипниковых узлов заполняется маслом, для обеспечения теплоотвода от подшипниковых узлов и фрикционных пар.

Таким образом, разработанная конструкция удовлетворяет ранее сформулированным и может быть принята к промышленным испытаниям в условиях опытного производства.

**5. Схемы и режимы глубинного шлифования с помощью ПШГ**

Схемы и назначение режимов резания с помощью ПШГ покажем на примере двух операций глубинного

шлифования заготовки лопатки первой ступени ТВД ГТД, материал ЖС32-ВИ.

На рис. 10 представлены операционные эскизы шлифования базовой плоскости, скоса и полок.

Для данных операций предварительного шлифования приняты шлифовальные круги 25А 50 СМ1 К 5...7 структур. Размеры кругов для операций 15 и 40: прямые с выточкой тип 5 80x40x20, для операций 25 и 80: 80x32x20.

Подача детали находится по (4). Фактическая скорость резания определяется по формуле (16):

$$V'_p = \frac{\pi}{60} (n_{шп} D_b + i(n_{шп} + n_{доп}) D_{кр}) \cdot [м/с] \tag{16}$$

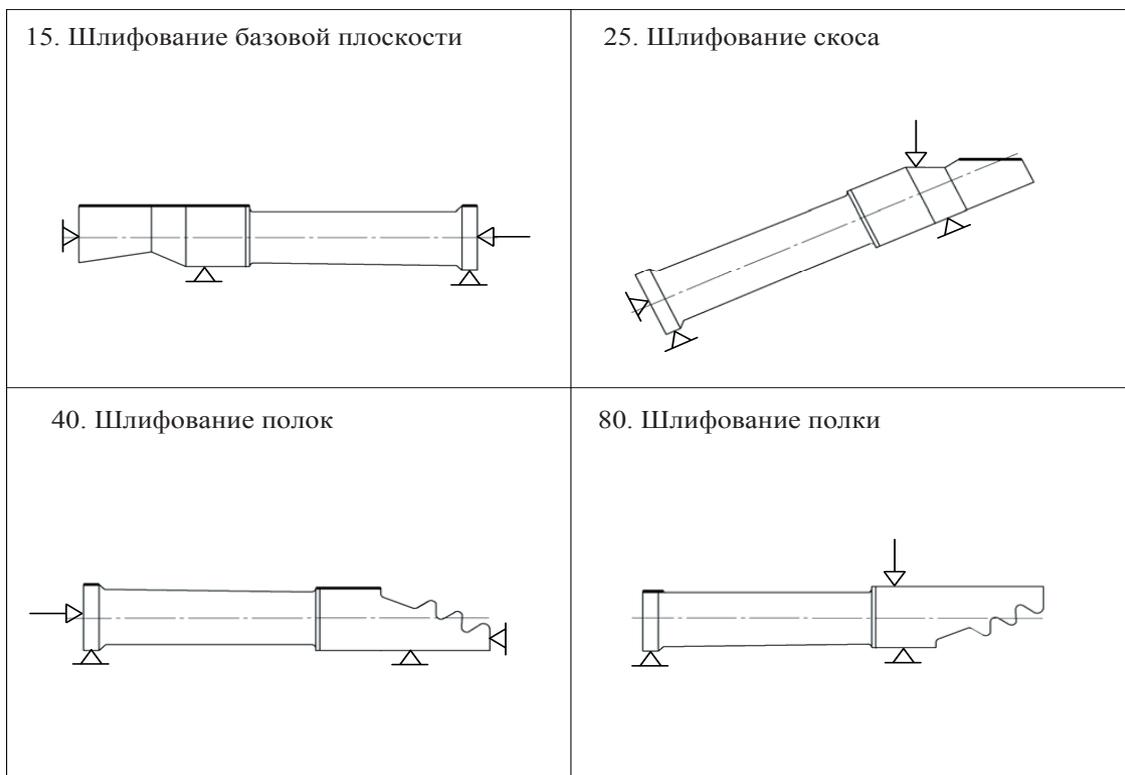


Рис. 10. Операционные эскизы глубинной обработки

Режимы резания сведены в таблицу 1.

**Таблица 1**

**Режимы резания ПГШ**

№	$n_{шп}$	$t$	$S_{дет}$	$n_{доп}$	$V'_p$
	об\мин	мм	мм/мин	об\мин	м/с
15	1500	1,2	91,5	0	37,2
20		4	50,5	-10	37,0
40		1	100,2	1	37,2
80		0,85	108,7	2	37,3

**6. Выводы**

1. Показан порядок разработки планетарно-шлифовальной головки для глубинного планетарного шлифования плоских и плоско-фасонных поверхностей изделий из ТОМ. Использование данного устройства является малозатратной альтернативой традиционного ГШ и может быть реализовано как на станках для глубинного шлифования, так и на универсальных плоскошлифовальных станках.

2. Проведено моделирование износа режущих абразивных элементов и, в зависимости от конструктивных и режимных параметров, определены значения подворота солнечного колеса  $n_{доп}$ , при которых обеспечивается равномерный износ сателлитных абразивных элементов. Результаты моделирования сведены в диаграмму для определения рекомендуемых и недопусти-

мых значений скорости дополнительного подворота  $P_{\text{доп}}$ .

3. С учетом проведенного моделирования и проведенных расчетов, сформулированы основные требования к конструкции планетарных шлифовальных устройств для шлифования плоских и плоско-фасонных поверхностей изделий из ТОМ. Разработана и описана конструкция опытно-промышленной ПШГ для станка ЗЕ711.

4. На примере операций глубинного шлифования заготовки турбинной лопатки ГТД, показаны режимы резания, принятые к промышленным испытаниям в условиях опытного производства ГП НПКГ «Зоря-Машпроект».

### Литература

1. Сурду Н.В. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 1. О наличии полости вдоль оси дислокации // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2000. – Вып. 23 (6). – С.116-123.
2. Сурду Н.В. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 2. Модель микромеханизма // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2001. – Вып. 24 (1). – С.139-147.
3. Сурду Н.В. Адсорбционное влияние сред при шлифовании металлов // Пробл. машиностроения. – 1999, Т 2, №1-2. – С.106-113.
4. Пат. №1732599 РФ, МКИ В24В 1/00. Способ абразивной обработки деталей / Н.В. Сурду, А.А. Тарелин, А.Ф. Горбачев, Э.В. Подольский. (Украина) - №4739272; Заявл. 20.09.89; Оpubл. 19.03.93, Бюл. № 25. – 3 с.
5. Сурду Н.В., Тарелин А.А., Телегин А.В. Повышение эффективности плоского шлифования труднообрабатываемых материалов / Современные технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – С. 143–164.
6. А.с. №1682131 СССР, МКИ В24В 19/14, В23Q 35/00. Копировально-шлифовальный станок / Э.В. Подольский, А.А. Тарелин, Н.В. Сурду. (Украина). – №4763629; Заявл. 17.10.89; Оpubл. 07.10.91, Бюл. №37. – 3 с.
7. Пат. №2080238 РФ, МКИ В 24 В 51/00. Способ шлифования / Н.В. Сурду, Э.В. Подольский, А.А. Тарелин, А.Ф. Горбачев. (Украина). – №5064219; Заявл. 05.10.92; Оpubл. 27.05.97, Бюл. № – 5 с.
8. Сурду Н.В. Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей из-делий. Сб. науч. труд. ХГПУ, Вып. 7, часть 2, Харьков, 1999. – С. 202-207.
9. Патент 2066268 РФ, МКИ В24В 1/00. Способ шлифования: Пат. 2066268 РФ, МКИ В24В 1/00 / Сурду Н.В., Буюкли И.М., Тарелин А.А., Горбачев А.Ф. (Украина) – №5064223/08; Заявл. 05.10.92; Оpubл. 10.09.96; Бюл. №25. – 5 с., ил.
10. Сурду Н.В., Телегин А.В. Влияние режимных параметров на процесс торцевого планетарного шлифования // Высokie технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – Вып.1 (14). – С. 106-113.
11. Сурду Н.В., Тарелин А.А., Телегин А.В. Экспериментальное исследование процесса торцевого планетарного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – Вып. 74. – С. 277-286.
12. Сурду Н.В., Тарелин А.А., Телегин А.В., Фистик А. Г. Исследование свойств поверхностных слоев жаропрочных материалов, обработанных методом торцевого планетарного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – Вып. 75. – С. 379-386.
13. Способ планетарного шлифования: Пат. №78872 Украина МПК В24В 7/00 / Горбачев А.А., Сурду Н.В., Долматов А.И., Телегин А.В. Заявл. 04.05.2005; Оpubл. 25.04.2007 бюл. №5. – 6 с.: ил.
14. Способ шлифования плоских поверхностей и устройство для его осуществления: Пат. №79543 Украина МПК В24В 7/00 / Сурду Н.В., Телегин А.В. Заявл. 16.09.2005; Оpubл. 25.06.2007 бюл. №9. – 6 с.: ил.
15. Сурду Н.В., Телегин А.В. Торцевое планетарное шлифование // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2005. – Вып. 69. – С. 293-300.
16. Сурду Н.В., Тарелин А.А., Телегин А.В. Способ глубинного планетарного шлифования // Современные технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – Том 2. – С. 248-257.