

или двухрядными, каков допустимый перепад давлений. Но без этих уплотнений создание двигателя нового поколения будет проблематичным.

Помимо разработки новых технологий, необходимо иметь достоверные методы контроля технологических процессов, работоспособности и надежности изготавливаемых деталей. Контроль поверхностных остаточ-

ных напряжений является мероприятием, гарантирующим оптимальный выбор технологии. НИИД накопил богатый опыт в разработке средств контроля поверхностных остаточных напряжений. Создан первый в России сертифицированный комплекс МерКулОН – «Тензор» для измерения поверхностных остаточных напряжения разрушающим методом.

УДК 621.92: 621.135

СОЗДАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНО- ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н. В. Сурду

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник*
Контактный тел.: (057) 754-55-47
E-mail: surdu@ipmach.kharkov.ua

А. А. Тарелин

Заведующий отделом, член-корреспондент НАН Украины*
Контактный тел.: (0572) 95-96-09
E-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua

А. В. Телегин

Кандидат технических наук, младший научный сотрудник*
*Отдел общетехнических исследований в энергетике
Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН
Украины
Контактный тел.: (057) 754-55-47
E-mail: telegin@ipmach.kharkov.ua
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.: (0512) 49-40-20
E-mail: agf@zorya.com.ua

Наведена послідовність розробки планетарної головки, яка дозволяє здійснювати високопродуктивне плоске шліфування важкооброблюваних матеріалів, на прикладі дослідно-промислового зразка для верстата 3E711. Розроблена конструкція чотирьохшпindelної планетарно-шліфувальної головки для кругів діаметром 80 мм

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

Приведена последовательность разработки планетарной головки, позволяющей осуществлять высокопроизводительное плоское шлифование труднообрабатываемых материалов, на примере опытно-промышленного образца для станка 3E711. Разработана конструкция четырехшпindelной планетарной шлифовальной головки для кругов диаметром 80 мм

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

Reduced order of working out of the epicyclic head, allowing to realise a flat 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

Keywords: epicyclic-grinding tool, adsorption-plasticization effect, hard-to-machine materials

1. Введение

Одним из направлений, позволяющих значительно расширить технологические возможности процесса шлифования труднообрабатываемых материалов (ТОМ), является применение прогрессивного планетарного инструмента. Исследования [1, 2, 3], прово-

димые в этом направлении, показывают, что эффективность процесса стружкообразования во многом зависит от обеспечения условий для проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ), механизм которого рассмотрен в работах [4, 5]. В работе [6] разработаны критерийные 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 [7, 8], что для обеспечения критериальных требований необходимо усовершенствование кинематики процессов формообразования как криволинейных [9, 10], так и плоских поверхностей [11, 12] с использованием планетарных шлифовальных инструментов.

Использование планетарных шлифовальных головок [12, 13, 14] позволяет повысить производительность обработки 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.

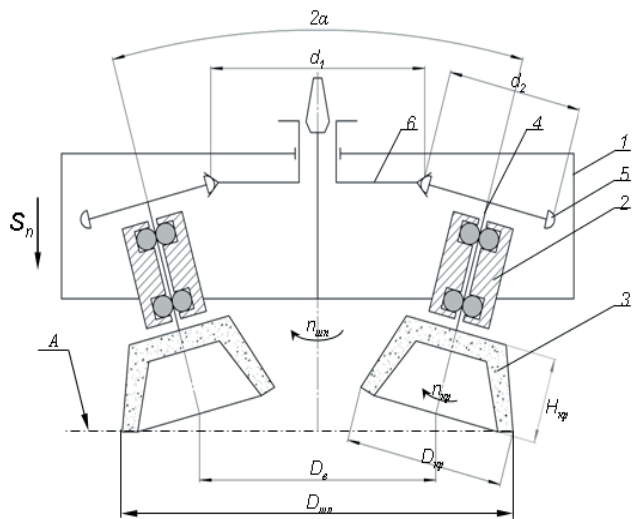


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема торцевой планетарно-шлифовальной головки

- 1 - корпус, 2 - сателлитный шпиндель, 3 - шлифовальный круг, 4 - вал,
- 5 - сателлитный ролик, 6 - солнечное колесо

На этапе разработки устройств для планетарного шлифования должны быть обеспечены как кинематические требования, заложенные в основу способов планетарной обработки [6], так и специфические особенности конструкции шлифовального оборудования.

Кинематика способов планетарной обработки подробно рассмотрена в работах [11, 15, 16]. В [8] предложена конструктивно-компоновочная схема планетарно-шлифовальной головки для плоского шлифования (рис. 1) и определены соотношения (1) - (4), обеспечивающие повышение эффективности протекания процесса.

$$\frac{d_1}{d_2} \leq \frac{l_p - D_{кр} \cdot \arccos\left(1 - \frac{2a_z}{D_{кр} \sin \alpha}\right)}{D_{кр} \cdot \cos \alpha \cdot \arccos\left(1 - \frac{2a_z}{D_{кр} \sin \alpha}\right)} \cdot \frac{D_{шп}}{D_{кр}} - 1, \quad (1)$$

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

$$S_n = \frac{1}{2\pi} a_{z\text{MAX}} n_{шп} n_{сат} \quad [\text{мм/мин}] \quad (3)$$

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{шп}}{60} \left(\frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n_{сат}}} + 1 \right) \quad [\text{м/с}] \quad (4)$$

где d_1, d_2 – диаметры солнечного и сателлитных колес;

l_p – среднее расстояние между режущими абразивными зёрнами ($l_p = 2...7$ мм);

$D_{кр}$ – диаметр шлифовального круга;

a_z – глубина шлифования единичным абразивным зерном;

α – угол наклона оси шлифовального круга;

$D_{шп}$ – диаметр шлифования;

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

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

$\Delta\tau_x \sim 10^{-2} \text{ с}$ [6];

$n_{сат}$ – количество сателлитных планетарных шлифовальных кругов;

V_p – суммарная скорость резания;

S_n – нормальная подача детали (врезная подача);

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

Выполнение неравенства (1), обеспечивает перекрытие единичных срезов и возможность доступа СОТС к ювенильным участкам обработанной поверхности. Назначение скорости вращения ТПШГ по (2), обеспечивает равенство промежутка времени $\Delta\tau_x$, латентному периоду развития АПЭ, для протекания хемосорбционных процессов на ювенильных поверхностях. При назначении подачи S_n по формуле (3), толщина стружки, снимаемая каждым режущим зерном за проход, не будет превышать предельно допустимой величины $a_{z\text{MAX}}$, при которой обеспечиваются наиболее благоприятные условия работы абразивного инструмента с точки зрения его размерной стойкости, износостойчивости и прочности. При такой кинематике процесса шлифования скорость резания найдется по формуле (4).

2. Выбор конструктивных параметров планетарной шлифовальной головки

При назначении режимов традиционного торцевого шлифования основным ограничением для повышения производительности является тепловой фактор, вызывающий дефекты обработки в виде прижогов и микротрещин. Поэтому возможности разрабатываемого устройства следует рассмотреть, прежде всего, по критерию качества поверхности и производительности обработки.

Экспериментально установлено [3], что отсутствие тепловых дефектов на получаемой поверхности достигается кинематикой планетарного микрорезания и обеспечивается всегда при штатном протекании процесса. Это позволяет свести двухкомпонентную задачу (качество поверхности + производительность) к однокомпонентной по критерию производительности.

Для рассматриваемой схемы обработки производительность W определяется по формуле:

$$W = \frac{\pi}{4} (D_{\text{шл}}^2 - (D_{\text{шл}} - D_{\text{к}} + d_{\text{к}})^2) S_{\text{п}}, \quad (5)$$

В свою очередь $D_{\text{шл}}$ и $S_{\text{п}}$ зависят от угла наклона осей шлифовальных кругов α , количества сателлитных шлифовальных кругов $n_{\text{сат}}$, выбранного отношения d_1/d_2 , абразивной способности зерен $a_{z\text{МАХ}}$, скорости вращения пшп, что подробно изложено в математической модели процесса [17].

Для данной конструктивной схемы (рис. 1) на этапе проектирования варьируемыми параметрами будут:

$n_{\text{сат}}$ - количество сателлитных шлифовальных кругов. В рамках данного исследования количество сателлитов $n_{\text{сат}} = 2, 3, 4$;

$D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$ - типоразмер шлифовальных кругов. Рассматривались стандартные конические чашечные шлифовальные круги тип 11 по ГОСТ 2424-83 следующих размеров $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$ (мм): 50×40, 80×65, 100×80, 125×88 и 150×130.

α - угол наклона сателлитных чашечных шлифовальных кругов. Изменялся от 1 до 30 градусов;

d_1/d_2 - отношение диаметров солнечного и сателлитных колес по рекомендациям [18, 19] должно находиться в пределах 0,3 ... 3.

Кроме того максимальная скорость резания для шлифовальных кругов чашечного типа не должна превышать 30 м/с.

Для оптимизации конструктивных параметров исследована имитационная модель процесса ТПШ, которая включает систему соотношений для расчета параметров обработки и моделирующий алгоритм, обеспечивающий правильное функционирование системы. Сканированием всего поля варьируемых параметров была найдена теоретическая производительность обработки W и построены диаграммы конструктивных параметров (рис. 2 - 4) для вариантов ТПШГ с различным количеством сателлитов $n_{\text{сат}}$.

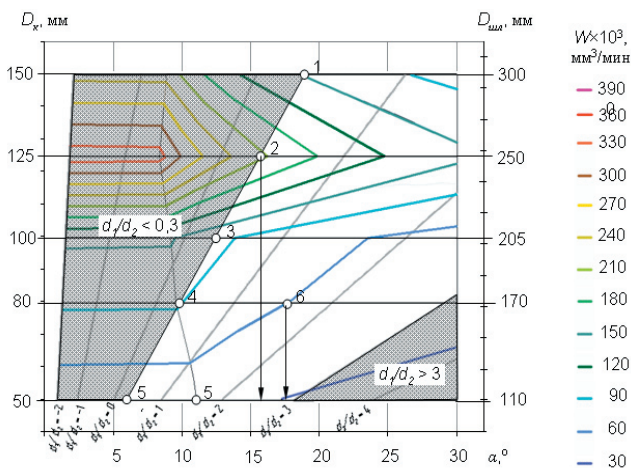


Рис. 2. Диаграмма конструктивных параметров $n_{\text{сат}} = 2$
Зависимость производительности W от основных конструктивных параметров: $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$, α , d_1/d_2 с учетом ограничений $n_{\text{шп}} \leq 3000$ об/мин, $V_{\text{р}} \leq 30$ м/с и $0,3 \leq d_1/d_2 \leq 3,0$

Диаграмма конструктивных параметров позволяет легко определять величину максимально достижимой теоретической производительности W и значения оптимальных конструктивных параметров во всей области определения варьируемых параметров с учетом всех ограничений. В данном случае это точка 2: $W_{\text{МАХ}} = 210 \cdot 10^3$ мм³/мин при $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}} = 125 \times 88$, $\alpha_{\text{опт}} = 16,5^\circ$ и $d_1/d_{2\text{опт}} = 0,3$.

Также определяются максимальный теоретический уровень производительности для конструктивов с различными кругами $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$ – точки 1, 3, 4, 5. Как видно производительность увеличивается с уменьшением угла наклона α и ее рост ограничивается максимально допустимой скоростью вращения головки пшп = 3000 об/мин и нижним значением возможного передаточного отношения $d_1/d_2 = 0,3$. Для конструктива с $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}} = 50 \times 40$ производительность, достигая максимального значения в точке 5, не изменяет своего значения до точки 5'.

Ниже приведены аналогичные диаграммы для устройств с $n_{\text{сат}} = 3$ и $n_{\text{сат}} = 4$, что позволяет сравнивать возможности различных вариантов ТПШГ по показателю производительности W и габаритным размерам $D_{\text{шл}}$.

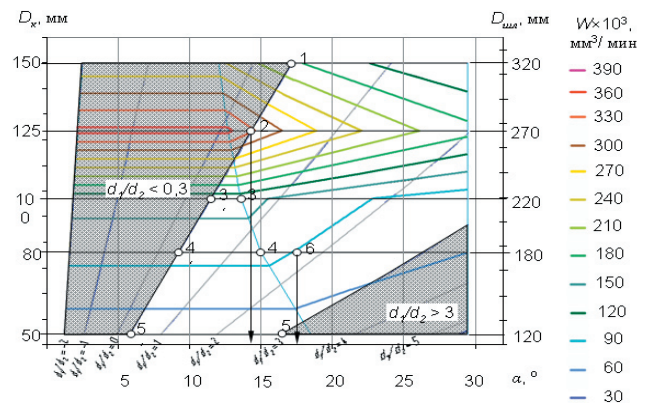


Рис. 3. Диаграмма конструктивных параметров $n_{\text{сат}} = 3$
Зависимость производительности W от основных конструктивных параметров: $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$, α , d_1/d_2 с учетом ограничений $n_{\text{шп}} \leq 2000$ об/мин, $V_{\text{р}} \leq 30$ м/с и $0,3 \leq d_1/d_2 \leq 3,0$

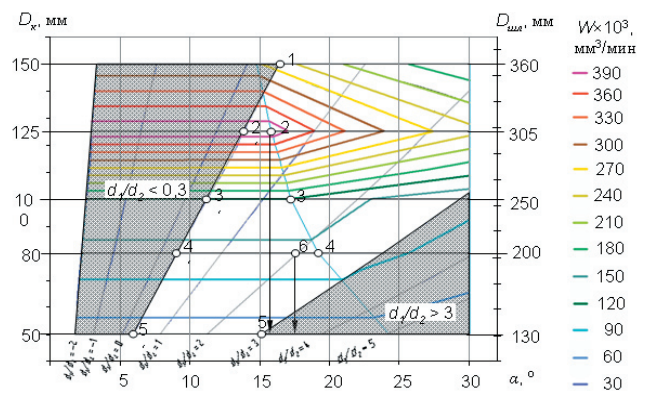


Рис. 4. Диаграмма конструктивных параметров $n_{\text{сат}} = 4$
Зависимость производительности W от основных конструктивных параметров: $D_{\text{к}} \times d_{\text{к}}$, α , d_1/d_2 с учетом ограничений $n_{\text{шп}} \leq 1500$ об/мин, $V_{\text{р}} \leq 30$ м/с и $0,3 \leq d_1/d_2 \leq 3,0$

Анализ диаграмм для вариантов ТПШГ с различным количеством сателлитов $n_{сат}$, позволяет свести рациональные значения конструктивных параметров в табл. 1.

Таблица 1

Рациональные конструктивные параметры ТПШГ

$D_k \times d_k$, мм	Параметры процесса	число сателлитов, $n_{сат}$		
		2	3	4
150×130	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	121	186	252
	α_{opt} , °	18,4	17,4	16,1
125×88	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	0,3	0,3	0,3
	d_1/d_{2opt}	217	331	414
100×80	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	15,2	14,4	13,4...15,3
	α_{opt} , °	0,3	0,3	0,3...0,57
80×65	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	98,2	133	149
	α_{opt} , °	12,1	11,5...13,6	10,6...16,8
50×40	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	0,3	0,3	0,3
	d_1/d_{2opt}	92	101	113
125×88	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	9,6	9,1...14,9	8,5...18,8
	α_{opt} , °	0,3	0,3...1,31	0,3...2,24
150×130	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	40,5	43,5	48,5
	α_{opt} , °	5,9...11,05	5,6...16,6	5,2...14,6
50×40	$W_{MAX} \cdot 10^3$, мм ³ /мин	0,3...1,62	0,3...3	0,3...3
	d_1/d_{2opt}			

Как видно из табл. 1, распределение рациональных конструктивных параметров имеет сложный характер. Для всех конструктивов производительность W растет с увеличением количества сателлитов $n_{сат}$ (рис. 5).

Для кругов с размером 50×40 и 80×65 этот рост составляет не более 20%, однако начиная с размера круга 100×80 он становится значительным, достигая для круга 150×130 – 108%. Рост производительности W при увеличении размера кругов $D_k \times d_k$ имеет ярко выраженный экстремальный характер с максимумом $D_k \times d_k = 125 \times 88$, который на 70...80% превышает производительность $D_k \times d_k = 150 \times 130$ и на 120...170% производительность $D_k \times d_k = 100 \times 80$. Также можно отметить, что производительность W растет с уменьшением угла наклона α , однако это влияние не может быть выражено простой функциональной зависимостью. Следует отметить что с увеличением количества сателлитов $n_{сат}$ значительно снижаются рабочие обороты $n_{шп}$, что положительно влияет на динамику процесса обработки. Кроме того, во всех случаях производительность W ,

достигая определенного максимального значения, сохраняет его при дальнейшем изменении варьируемых параметров. Поэтому оптимальные значения варьируемых параметров выражаются интервалом или областью. Это позволяет в пределах этих интервалов выбирать значения конструктивных параметров, с целью унификации и разработки типовых конструкции торцовых планетарно-шлифовальных устройств.

$W, \times 10^3$ мм³/мин

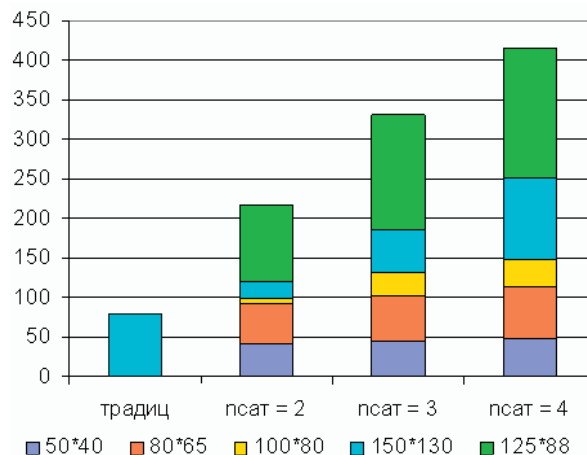


Рис. 5. Сравнение максимальных уровней производительности ТПШ и торцового шлифования кругом $D_k \times d_k = 150 \times 130$ мм

Проведенная оптимизация позволяет сформулировать следующие рекомендации по выбору и назначению конструктивных параметров:

Исходными данными для определения конструктивных параметров планетарных устройств являются технологическое предназначение и технологические возможности модернизируемого оборудования. Диаметр шлифования $D_{шл}$, т.е. ширина обработки за проход для выше рассмотренных вариантов конструкций, составляет от 110 мм ($D_k = 50$ мм, $n_{сат} = 2$) до 360 мм ($D_k = 150$ мм, $n_{сат} = 4$). Эта величина определяется размерами обрабатываемой поверхности детали, или размерами и расположением обрабатываемых деталей при групповой обработке. Соответственно зона обработки станка должна позволять размещение планетарной головки, приспособлений и обрабатываемых деталей.

После определения размеров необходимого диаметра шлифования $D_{шл}$, переходят к выбору количества сателлитов $n_{сат}$ и диаметров шлифовальных кругов $D_k \times d_k$.

Выбор количества сателлитов определяется:

- стремлением уменьшения габаритов и массы ТПШГ, в основном за счет выбора конструкции с меньшим количеством сателлитов;
- сложностью модернизации или разработки редуктора, необходимого для согласования рабочих оборотов ТПШГ $n_{шп}$, об/мин (3000, 2000, 1500 соответственно для $n_{сат} = 2, 3, 4$), с оборотами шпинделя, которые на плоскошлифовальных станках чаще всего 2500...4000 об/мин и выше. Планетарные головки с меньшим количеством сателлитов чаще всего легче

согласовать с оборотами шпинделя плоскошлифовальных станков;

– при большем количестве сателлитов в работе находится большее количество шлифовальных кругов.

Это снижает размерный износ кругов и положительно влияет на точность обработки, уменьшает вспомогательное время на замену и правку шлифовальных кругов.

Габаритные размеры ТПШГ линейно зависят от диаметра выбранных шлифовальных кругов D_k . При этом допускается установка кругов меньшего диаметра.

После назначения количества сателлитов $n_{сат}$ и диаметров шлифовальных кругов $D_k \times d_k$, по табл. 1 или диаграммам (см. рис. 2 - 4) определяют угол наклона шлифовальных кругов α и отношение диаметров солнечного и сателлитных колес d_1/d_2 . Практика проектирования планетарных устройств показывает, что эти параметры существенно зависят от присоединительных размеров шпиндельного узла модернизируемого станка и конструктивного исполнения сочленения.

3. Основные требования к разрабатываемому устройству

С учетом вышеизложенного, можно сформулировать основные требования к конструкции разрабатываемой ТПШГ:

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

1.1. Количество планетарных шпинделей $n_{сат} = 4$;

1.2. Угол наклона осей шлифовальных кругов $\alpha = 15^\circ$;

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

2. Соотношения скоростей вращения.

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

$$n_{шп} = 1500 \text{ об/мин.}$$

2.2. Соотношение оборотов сателлитных шлифовальных кругов $n_{кр}$ и шпинделя:

$$n_{кр} / n_{шп} = 2,45...2,48,$$

что соответствует отношению диаметров солнечного колеса d_1 и сателлитных колес d_2 :

$$d_1 / d_2 = 1,45...1,48.$$

3. ТПШГ должна обеспечивать установку шлифовальных кругов по ГОСТ 2424-83 следующих типоразмеров (рис. 6):

– чашечного конического профиля ЧК (тип 11),

– чашечного цилиндрического профиля ЧЦ (тип 6),

– прямого профиля с выточкой ПВ (тип 5),

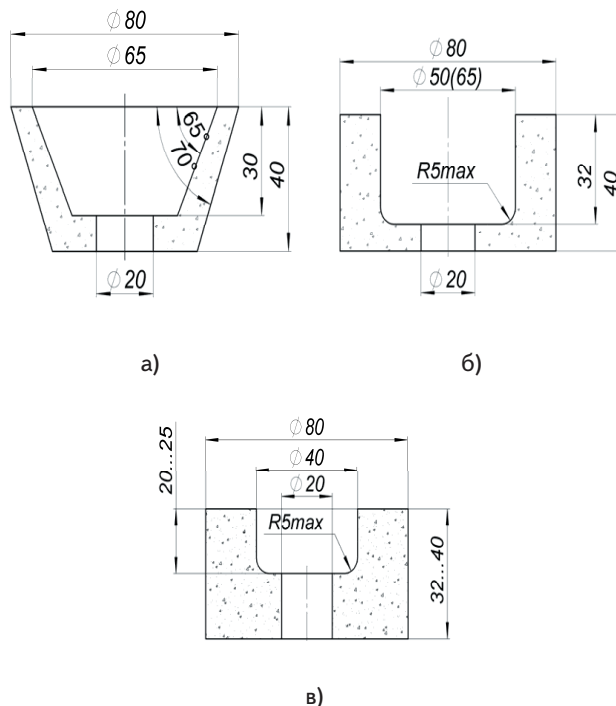


Рис. 6. Шлифовальные круги, устанавливаемые на ТПШГ а - чашечный конический профиль (тип 11), б - чашечный цилиндрический профиль (тип 6), в - прямой профиль с выточкой (тип 5)

4. Конструкция сателлитного шпиндельного узла должна обеспечивать совмещение режущих торцов шлифовальных кругов в плоскости резания А (см. рис. 1). Шлифовальные круги должны устанавливаться на сателлитные шпиндели на съемных оправках (рис. 7), которые используются и при предварительной правке, балансировке и взвешивании.

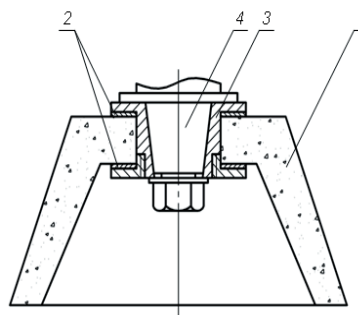


Рис. 7. Схема установки шлифовального круга на сателлитный шпиндель
1 - шлифовальный круг, 2 - шайбы, 3 - разъемная оправка, 4 - сателлитный шпиндель.

5. Разрабатываемое устройство устанавливается на плоскошлифовальный станок через угловой редуктор 1 (рис. 8). Редуктор должен обеспечивать регулируемый поворот ТПШГ на угол $\Theta = \pm 5^\circ$ с точностью $0,01^\circ$, например, при помощи червячной или винтовой передачи 3. Привод углового редуктора может получать вращение от шпинделя станка и, через фрикционную (рис. 8а) или ременную передачу 3 (рис. 8б), передавать его на ТПШГ. Привод вращения

ТПШГ должен обеспечивать обороты $n_{шп} = 1500$ об/мин.

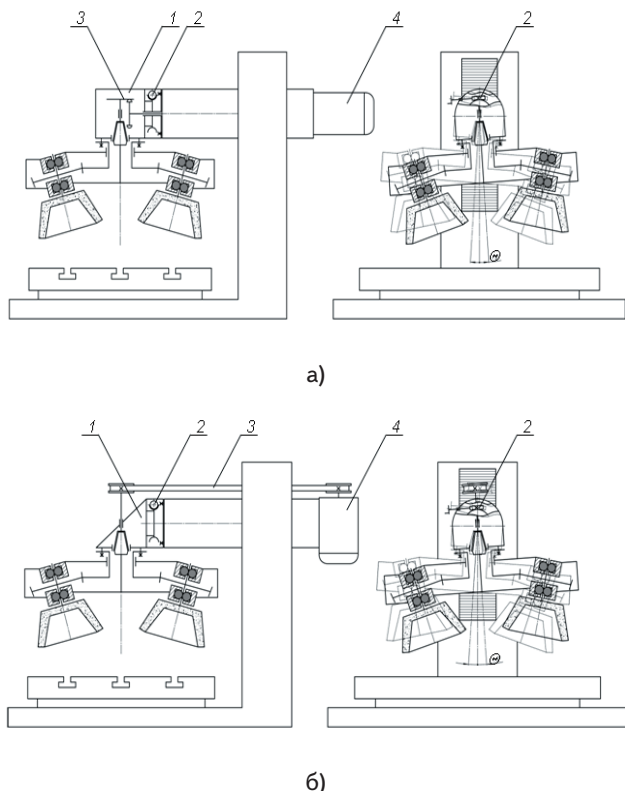


Рис. 8. Схема установки ТПШГ на плоскошлифовальный станок
 1 – угловой редуктор, 2 – регулировочная передача, 3а – фрикционная передача, 3б – ременная передача, 4 – двигатель ГРД

6. Используемые кинематические пары должны надежно обеспечивать передачу и равномерное разделение мощности $N = 5$ кВт между сателлитными шпинделями в прерывистом режиме.

7. Все элементы конструкции должны обеспечивать ресурс работы ТПШГ не менее 5000 часов.

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

9. Конструкция ТПШГ должна предусматривать масляное охлаждение подшипниковых узлов сателлитных шпинделей.

10. Радиальное биение посадочных мест сателлитных шпинделей относительно шпинделя станка (посадочной поверхности ТПШГ) не более 0,005 мм.

11. Защитный кожух ТПШГ должен обеспечивать надежную защиту до скоростей резания $V_p = 35$ м/с.

4. Конструкция ТПШГ для плоского шлифования ТОМ

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

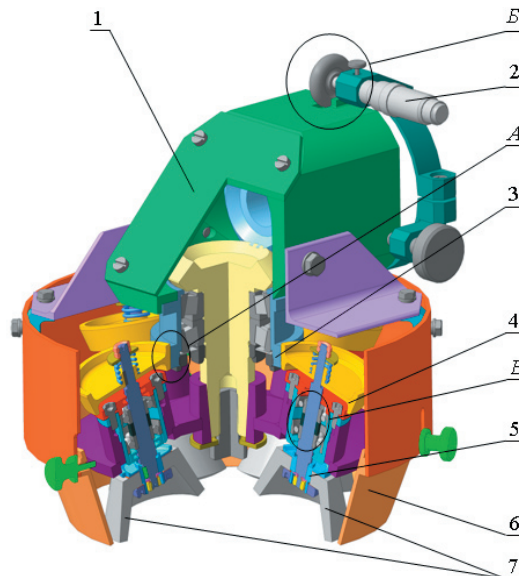


Рис. 9. Конструкция торцевой планетарно-шлифовальной головки
 А – фрикционная пара, Б – червячная передача, В – сателлитные подшипниковые узлы; 1 – угловой редуктор, 2 – микрометрический винт, 3 – солнечное колесо, 4 – сателлитные колеса, 5 – коническая оправка, 6 – регулируемый защитный кожух, 7 – шлифовальные круги

ТПШГ устанавливается на плоскошлифовальный станок при помощи углового редуктора 1 с передаточным отношением $i = 1$.

Передача вращения на шлифовальные круги 6 осуществляется посредством планетарной передачи, выполненной в виде конической фрикционной пары А с регулируемым поджатием сателлитных колес 4. Такая конструкция наряду с возможностью передавать значительную мощность, свойственную операциям плоского торцевого шлифования, позволяет предотвратить разрушение элементов конструкции в случае возникновения нерасчетных нагрузок.

Механизм регулируемого поворота ТПШГ выполнен при помощи червячной передачи Б, которая передает вращение от микрометрического винта 2. При этом перемещение винта на 0,01 мм соответствует повороту ТПШГ на 0,01°.

Делительные диаметры приняты для солнечного колеса 3 $d_1 = 100$ мм, а сателлитных колес 4 $d_2 = 68$ мм, что обеспечивает передаточное отношение $n_{кр} / n_{шп} = 2,47$.

Шлифовальные круги 7 с посадочным диаметром 20 мм, устанавливаются через коническую оправку 5 на сателлитные шпиндели, что обеспечивает повышенную точность установки. Регулируемый защитный кожух 6 обеспечивает работу кругов высотой до 40 мм.

На корпусе ТПШГ предусмотрены места для съема материала в процессе балансировки. Полость сателлитных подшипниковых узлов В заполняется маслом, для обеспечения теплоотвода.

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

5. Выводы

1. Приведена последовательность разработки торцевой планетарно-шлифовальной головки для плоского шлифования изделий из ТОМ. Использование данного устройства является малозатратной альтернативой традиционного торцевого шлифования и может быть реализовано на универсальных плоскошлифовальных станках.

2. Проведена оптимизация конструктивных параметров для вариантов ТППГ с количеством сателлитов $n_{\text{сат}}$ = 2, 3, 4 и шлифовальными кругами $D_k \times d_k$ (мм): 50×40, 80×65, 100×80, 125×88 и 150×130. Результаты оптимизации представлены в табличной форме и в виде диаграмм конструктивных параметров с полученными оптимальными значениями производительности и окрестностями точек оптимума в наглядной форме для конструкторов и технологов.

3. С учетом результатов проведенной оптимизации, разработаны рекомендации по назначению конструктивных параметров и сформулированы основные требования к конструкции торцевых планетарных шлифовальных устройств для плоского шлифования изделий из ТОМ.

4. Разработана и описана конструкция опытно-промышленной торцевой планетарно-шлифовальной головки для станка ЗЕ711, принятая к промышленным испытаниям в условиях опытного производства ГП НПК «Зоря-Машпроект».

Литература

1. Сурду Н.В., Телегин А.В. Влияние режимных параметров на процесс торцевого планетарного шлифования // Высокие технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – Вып.1 (14). – С. 106–113.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. Сурду Н.В. Адсорбционное влияние сред при шлифовании металлов // Пробл. машиностроения. – 1999, Т 2, №1-2. – С.106-113.
7. 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; Опубл. 19.03.93, Бюл. № 25. – 3 с.
8. 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.
9. 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; Опубл. 07.10.91, Бюл. №37. – 3 с.
10. 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; Опубл. 27.05.97, Бюл. № – 5 с.
11. Сурду Н.В. Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей изделий. Сб. науч. труд. ХГПУ, Вып. 7, часть 2, Харьков, 1999. – С. 202-207.
12. 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; Опубл. 10.09.96; Бюл. №25. – 5 с., ил.
13. Способ планетарного шлифования: Пат. №78872 Украина МПК В24В 7/00 / Горбачов А.А., Сурду Н.В., Долматов А.И., Телегин А.В. Заявл. 04.05.2005; Опубл 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; Опубл 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.
17. Аннопольская И.Е., Сурду Н.В., Телегин А.В. Оптимизация конструктивных и технологических параметров торцевого планетарного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – Вып. 73. – С. 9–19.
18. Планетарные передачи. Справочник. Под ред. докторов техн. наук В. Н. Кудрявцева Ю. Н. Кирдяшева. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. 536 с. с ил.
19. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1980. – 320 с., ил.