

УДК 621.787.4
DOI:10.30987/2223-4608-2021-9-11-18

Н.И. Никифоров, к.т.н.

(Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, 403874, Россия, Волгоградская область, г. Камышин, ул. Ленина, 6а)
E-mail: nikiforov0003@gmail.com

Морфологический подход к описанию совмещенной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием роликами длинномерных валов и труб

Приводятся методика и результаты морфологического анализа и синтеза конструктивных схем установки для совмещенной обработки длинномерных валов и труб резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД) роликами с самоподачей. Показано, какие полученные конструктивные варианты уже реализованы на практике, а какие являются перспективными.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; совмещенная обработка резанием; ППД роликами; морфологический анализ и синтез проектных решений.

N.I. Nikiforov, Can. Sc. Tech.

(Kamyshin Technological Institute (branch of) Volgograd State Technical University, 6a, Lenina Str., Kamyshin, Volgograd region, Russia, 403874)

Morphological approach to the description of combined machining by cutting and surface plastic deformation with rollers of long shafts and pipes

The methodology and results of morphological analysis and synthesis of installation construction designs for combined machining of long shafts and pipes by cutting and surface plastic deformation (SPD) with self-feeding rollers are presented. It is shown which design options have already been implemented in practice, and which are promising.

Keywords: surface plastic deformation; combined cutting; SPD rollers; morphological analysis and synthesis of design decisions.

Длинномерные нежесткие валы и трубы, обработанные с низкой шероховатостью (например, заготовки для изготовления деталей интерьера, товаров широкого потребления, таких как коляски и др.), а в определенных случаях и с высокой точностью (например, валки для ткацкого оборудования, штоки гидrocиллиндров и др.) требуют достаточно сложного технологического обеспечения в производстве. В технологии механической обработки таких деталей можно выделить наличие нескольких характерных этапов представ-

ляющих собой черновую обработку, включающую только лишь срезание дефектного слоя и формирующую необходимую точность, и чистовую, окончательно обеспечивающую точностные параметры и качество поверхности обработанной детали.

Технологический процесс может осуществляться с применением оборудования и инструмента приспособленного для обработки длинных нежестких тел вращения. Например, это бесцентрово-шлифовальные, ленточно-полировальные станки, оборудование для об-

работки ППД, а в качестве инструментального обеспечения в целях предотвращения деформации заготовки от радиальной составляющей силы резания и деформирования находят применение многорезцовые головки и дифференциальные многорезцовые обкатники.

Различные варианты технологического оснащения обеспечивают и различные возможности по точности, производительности, себестоимости обработки. Обработка может вестись на отдельных рабочих местах или совмещаться в единый комплекс. В работе [1] Балакшин Б.С. пишет, что наивысшей производительности можно достичь, совмещая весь цикл обработки в одну операцию: «...идеальной, с точки зрения достижения требуемой точности обрабатываемых деталей, была бы такая система СПИД, пройдя которую заготовка сразу за один проход получила бы требуемую точность, т.е. превратилась бы в готовую деталь».

Шнейдер Ю.Г. указывает, что «совмещение обработки резанием и холодным пластическим деформированием с использованием особенностей и достоинств той и другой – одно из основных направлений совершенствования металлообработки как в отношении сокращения цикла обработки и повышения производительности труда, так и повышения качества обрабатываемых деталей» [2].

На основании анализа существующих технологических процессов обработки валов Азаревич Г.М. и др. [3] предлагает создавать новые комбинированные методы токарной обработки, которые по точности, производительности и энергоемкости превосходят абразивную обработку. Токарный станок предлагается оснащать специальной обрабатывающей головкой, которая выполняется в виде взаимозаменяемых конструктивных модулей показанных на рис. 1 [2].

Существенным минусом описанного подхода к комбинированной обработке является ограничение применением технологической системы токарного станка – деталь закрепляется в центрах, отсюда сниженная (по сравнению с обработкой напроход по принципу бесцентрового шлифования) производительность за счет наличия холостых ходов и затрат времени на установку и снятие детали. Кроме того на основе этих схем нельзя обрабатывать заготовку произвольной длины (наибольшая длина ограничена рабочим пространством применяемого токарного станка).

Проектирование структуры построения специального технологического оборудования

на основе ее модульного рассмотрения является перспективным и может быть дополнено за счет снятия ограничений по длине обрабатываемых заготовок, а также более расширенного рассмотрения конструктивных модулей.

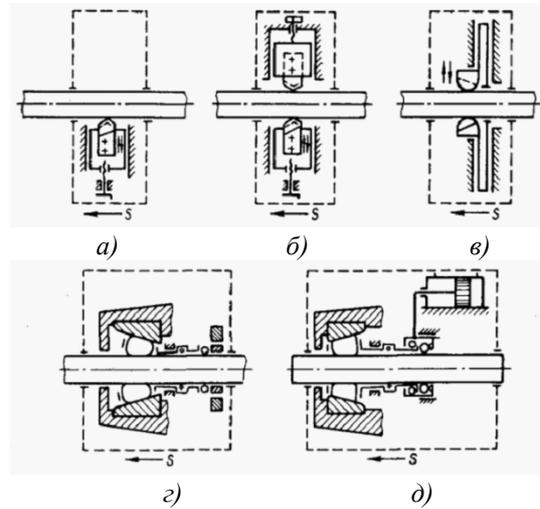


Рис. 1. Конструктивные модули для совмещенной обработки резанием и ППД роликами [2]:

а – однорезцовая головка; б – двухрезцовая головка; в – двухрезцовая плавающая головка; г – жесткая деформирующая многорезцовая планетарная головка; д – деформирующая многорезцовая планетарная головка с постоянным усилием деформирования

Рассмотреть все возможные сочетания совмещения различных процессов в один может помочь применение метода морфологического анализа и синтеза проектных решений [4]. Применение морфологического подхода к достаточно изученным техническим системам позволяет выявить ускользающие от внимания в привычном рассмотрении варианты конструкций.

При использовании этого метода требуется выявить существенные признаки совершенствуемого объекта, далее описать возможные альтернативные варианты их исполнения, а затем, комбинируя их совместное использование, предложить конструктивные варианты сочетаний пригодные для дальнейшей конструкторской проработки.

Для описания морфологического строения конструктивной реализации комбинированной обработки необходимо задаться рядом конструктивно-технологических признаков. Так как рассматривается создание металлообрабатывающего оборудования, то в основу рассмотрения должна быть положена формообразующая часть. Известно, что при любом виде механической обработки обеспечиваются дви-

жения формообразования, в наиболее общем случае это движения резания и подачи.

Следовательно, можно выделить несколько функций необходимых для совмещенной (комбинированной) обработки резанием и ППД роликами и обеспечения при этом самоподачи:

1) резания Φ_p , которое можно разделить на две функции: Φ_{p1} – направленного на срезание только дефектного слоя, что требуется в случае отделочной обработки без предъявления требований по точности и Φ_{p2} – направленного на формирование (при необходимости) точных размерных характеристик детали;

2) поверхностного пластического деформирования – Φ_d , подразделяющегося на ППД с целью предварительного упрочнения Φ_{d1} и улучшения обрабатываемости резанием (если это требуется) и ППД обеспечивающее микрогеометрию и качество поверхностного слоя Φ_{d2} ;

3) обеспечения главного движения (вращения) – Φ_v ;

4) обеспечения движения подачи (продольного перемещения заготовки) – Φ_s .

Выявленные функции должны выполняться определенными конструктивными модулями. В наиболее общем рассмотрении каждая из перечисленных функций может быть отнесена к одному из составляющих конструктивных модулей установки, среди которых выделим следующие:

1) режущая часть P : P_1 – режущая часть, выполняющая функцию резания – Φ_{p1} ; P_2 – режущая часть, выполняющая функцию резания – Φ_{p2} ;

2) деформирующая часть D : D_1 – деформирующая часть, обеспечивающая обработку ППД – функцию Φ_{d1} ; D_2 – деформирующая часть, обеспечивающая обработку ППД – функцию Φ_{d2} ;

3) приводная часть Π : Π_v – приводная часть, обеспечивающая движение вращения; Π_n – приводная часть обеспечивающая движение подачи.

В случае наличия нескольких приводных частей в их обозначение добавляется цифровой индекс (например Π_{v1} , Π_{v2}).

Если каждый структурный элемент будет выполнять одну функцию, то с учетом обеспечения обработки на проход конструктивная схема будет включать в себя восемь элементов (рис. 2, а) которые выполняют каждый одну функцию: приводное устройство Π_{n1} сообщают заготовке поступательное движение; Π_{v1} добавляет вращательное движение; D_1 подготавливает поверхность, образуя наклепанный

слой; P_1 и P_2 обеспечивают резание; D_2 окончательно обеспечивает обработку ППД; приводные устройства Π_{n2} и Π_{v2} сообщают заготовке поступательное и вращательное движение. Наличие в схеме приводных устройств в начале и конце обеспечивают обработку напроход (по аналогии с бесцентровошлифовальной обработкой).

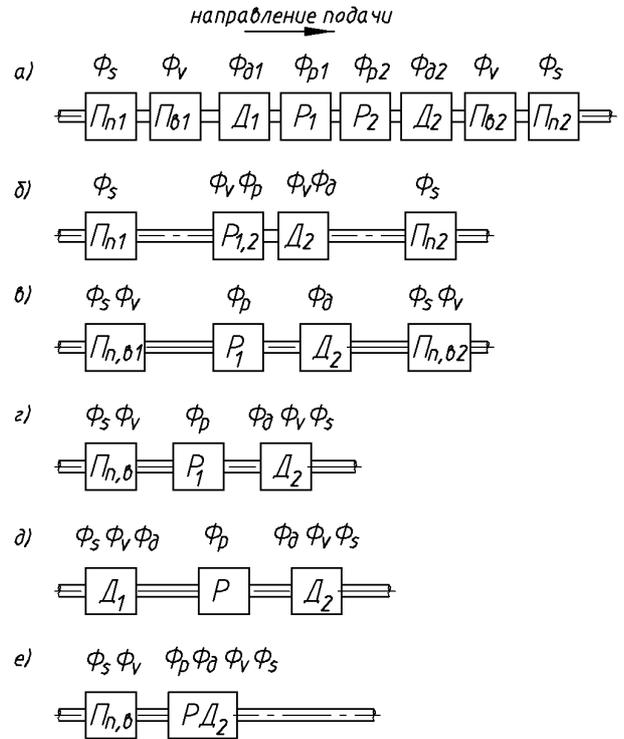


Рис. 2. Результаты структурно-функционального анализа и синтеза конструктивных схем установки для обработки длинномерных валов совмещенным резанием и ППД роликами с самоподачей:

а, б, в, г, д, е – варианты конструктивных схем; P_1, P_2 – режущая часть; D_1, D_2 – деформирующая часть; Π_n, Π_v – подающие устройства; Φ_{p1}, Φ_{p2} – функция резания; Φ_{d1}, Φ_{d2} – функция ППД; Φ_v – функция обеспечения главного движения; Φ_s – функция обеспечения движения подачи

Рассмотренная обобщенная конструктивная схема может быть преобразована путем изменения количества конструктивных элементов, при этом функциональный состав должен оставаться полным, т.е. удаляя каждый конструктивный элемент, функцию, которую он выполнял, передается другому конструктивному элементу.

Рассмотрим получаемые сочетания. На рис. 2, б показана схема, в которой заготовка не вращаясь перемещается с помощью приводных элементов Π_{n1} и Π_{n2} . Функция враще-

ния осуществляется режущей и деформирующей частями $P_{1,2}$, D_2 (применены вращающиеся резцовая головка и планетарный обкатник).

Схема установки по этому варианту показана на рис. 3.

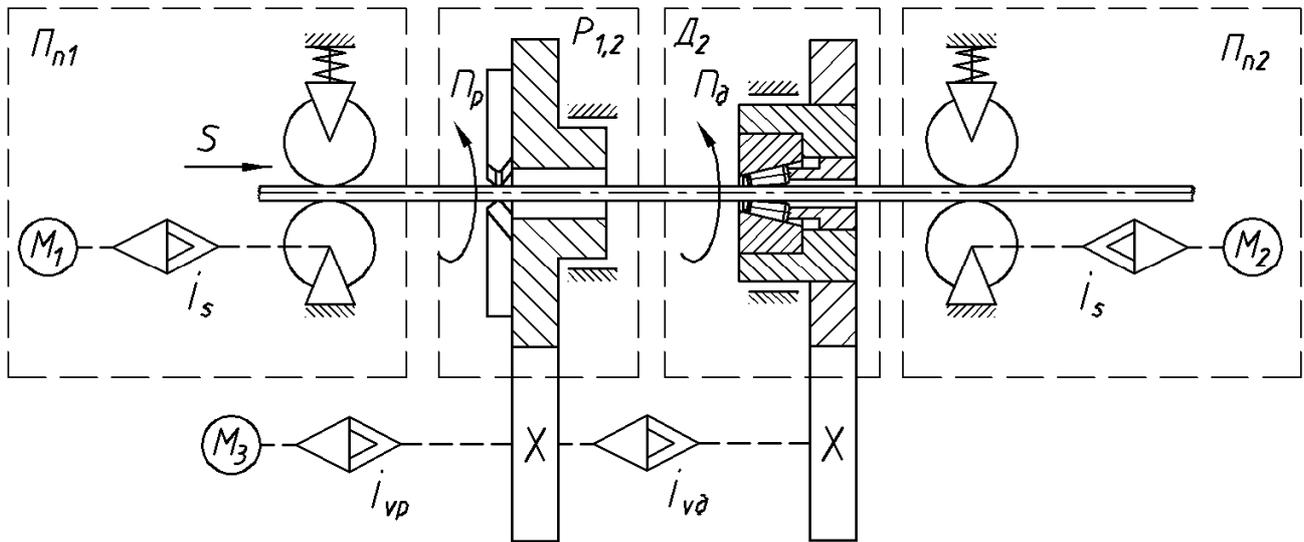


Рис. 3. Конструктивная схема совмещенной обработки резанием и ППД роликами с продольно подаваемой заготовкой в сочетании с вращающейся резцовой головкой и обкатником

На рис. 2, в показана схема предусматривающая вращение и подачу заготовки ($\Pi_{п,в1}$ и $\Pi_{п,в2}$) через неподвижную резцовую головку

$P_{1,2}$ и обкатник D_2 . Пример реализации такого сочетания представлен на рис. 4.

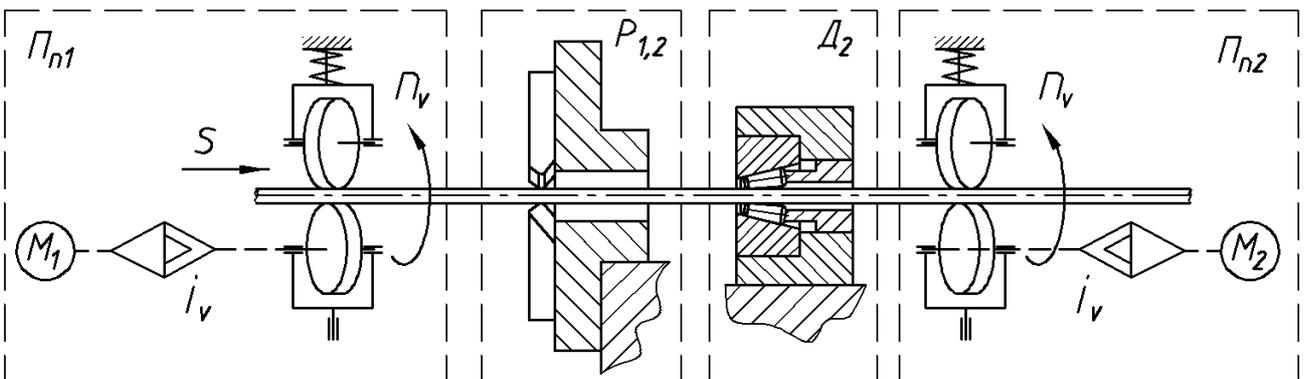


Рис. 4. Конструктивная схема совмещенной обработки резанием и ППД роликами с продольно подаваемой и вращаемой заготовкой в сочетании с неподвижной резцовой головкой и обкатником

На рис. 2, г функция приводной части $\Pi_{п,в2}$ передана деформирующей части D_2 , т.е. применен обкатник обеспечивающий обработку с самоподачей (рис. 5).

На рис. 2, д вместо приводной части $\Pi_{п,в1}$ применена деформирующая часть D_1 , т.е. применен еще один обкатник обеспечивающий обработку с самоподачей. Эта схема реализована в устройстве [5], а конструктивная

схема показана на рис. 6.

Последняя из рассматриваемых схем (см. рис. 2, д) построена на основе известной конструкции ротационного комбинированного инструмента с применением режуще-деформирующего ролика [6], но при этом требует обоснования возможность его работы с обеспечением вращения и подачи обрабатываемой заготовки (рис. 7).

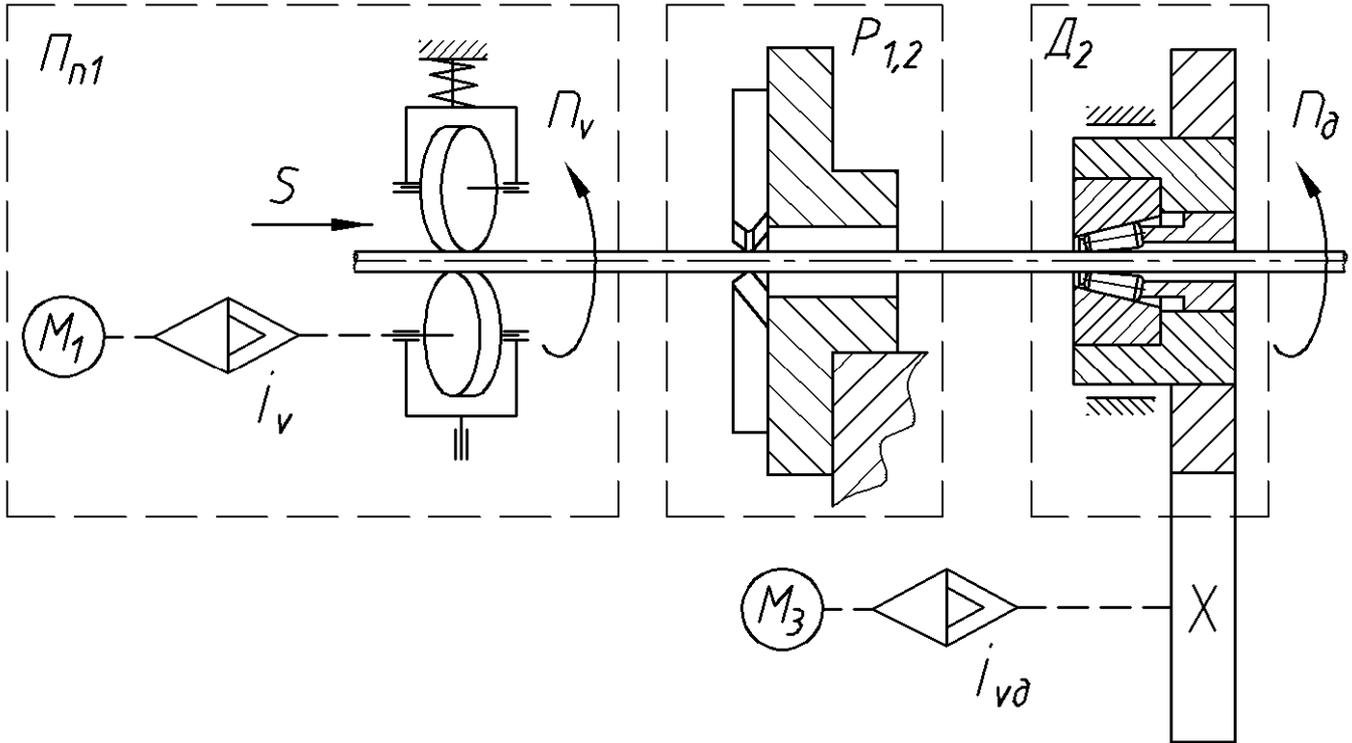


Рис. 5. Конструктивная схема совмещенной обработки резанием и ППД роликами с продольно подаваемой и вращаемой заготовкой в сочетании с неподвижной резцовой головкой и обкатником обеспечивающем самоподачу заготовки

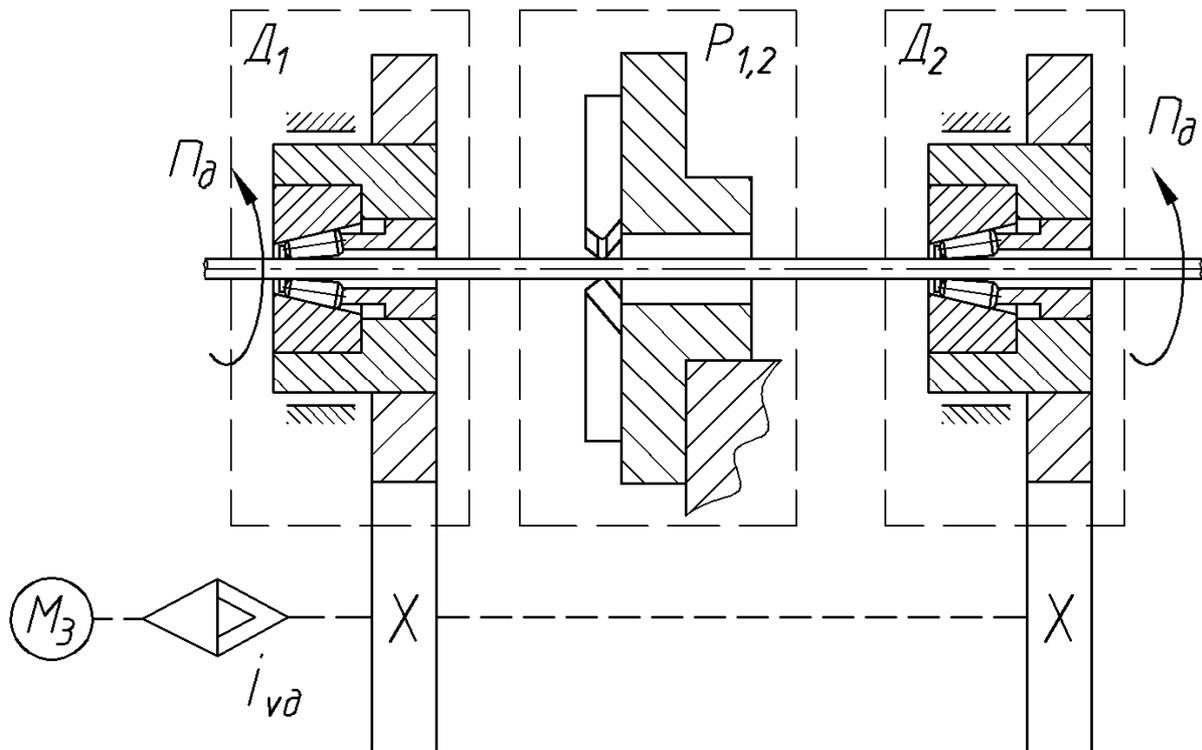


Рис. 6. Конструктивная схема совмещенной обработки резанием и ППД роликами с самоподачей заготовки двумя обкатниками при неподвижной резцовой головке

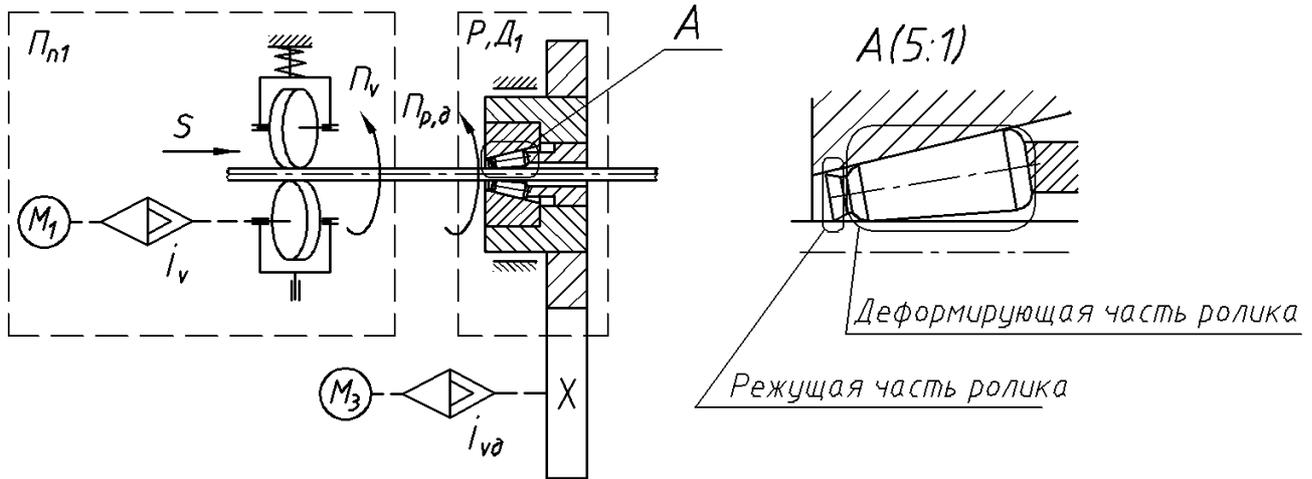


Рис. 7. Конструктивная схема совмещенной обработки резанием и ППД роликами с подачей заготовки специальным подающим устройством и самоподачей обкатником оснащенным специальными режуще-деформирующими элементами (А)

Вторым уровнем рассмотрения состава оборудования для совмещенной обработки является морфологическое описание составляющих его конструктивных модулей (режущей, деформирующей и подающих частей). Для этого также выделяются существенные признаки, характеризующие соответствующие

конструктивные модули, а затем приводятся альтернативные варианты их исполнения.

В табл. 1 показано, как строится морфологическое описание для режущей части, в табл. 2 для деформирующей, а в табл. 3 для подающих частей установки. При составлении таблиц использованы источники [6 – 10].

1. Морфологическое описание вариантов строения конструктивного модуля режущей части установки

Характеристика режущей части		Варианты				
		1	2	3	4	5
Режущий инструмент (РИ)	А	резец	фреза	иглофреза	абразивный круг	абразивная лента
Количество РИ	Б	1	2	3	4	5 и более
Четность количества РИ	В	четное	нечетное			
Характер настройки на размер РИ	Г	жесткая на размер	от обрабатываемой поверхности	с постоянной силой резания	с постоянной глубиной резания	
Особенность настройки	Д	индивидуальная настройка каждого РИ	настройка парами РИ	настройка всех РИ вместе		
Наличие движений РИ	Е	неподвижный	вращающейся	поступательно двигающейся	комбинация движений	импульсное движение

Пример использования табл. 1: на рис. 6 режущая часть $P_{1,2}$ соответствует сочетанию: А1Б2Г1Д1Е1. Пример использования табл. 2: на рис. 5 деформирующая часть D_2 соответствует сочетанию: Ж3З4И1К1Л0М2Н2О2П0. Пример использования табл. 3: на рис. 7 приводная часть $\Pi_{п1}$ соответствует сочетанию Р2С1Т1У2Ф2.

Приведенные морфологические таблицы не претендуют на абсолютную полноту и могут быть дополнены как характеристиками, так и альтернативными вариантами их исполнения.

Ограниченные рамки статьи дают лишь возможность показать методику анализа и продемонстрировать открывающиеся перспективы получения сочетаний различных конструктивных признаков. Полученные в результате сочетания должны быть оценены с точки зрения возможного их совместного применения. А так как процессы резания и ППД различны по своей природе, то требуется их согласование по целому ряду характеристик, таких как скорость резания (деформирования); глубина резания; глубина внедрения деформирующего

элемента или сила деформирования; подача; качество применяемых заготовок; их подготовленность к совмещенной обработке; пара-

метры шероховатости поверхностей заготовки и промежуточного состояния между резанием и ППД и т.д.

2. Морфологическое описание вариантов строения конструктивного модуля деформирующей части установки

Характеристика деформирующей части		Варианты				
		1	2	3	4	5
Конструкция деформирующего элемента (ДЭ)	Ж	шар	ролик тороидальный	конический	цилиндрический	сочетание поверхностей
Количество ДЭ	З	1	2	3	4	5 и более
Четность количества	И	четное	нечетное			
Характер настройки ДЭ	К	жесткая на размер	с постоянной силой деформирования			
Источник силы деформирования	Л	грузовое нагружение	пружинное нагружение	нагружение центробежной силой [8]	гидропривод	пневмопривод
Наличие движений ДЭ	М	нет	вращение	прямолинейное движение	импульсное движение	комбинация движений
Наличие планетарного вращения ДЭ	Н	отсутствует	присутствует			
Наличие у ДЭ материальной оси вращения	О	с материальной осью	сепараторный тип инструмента	сочетание наличия материальной оси с сепаратором		
Применяемые подшипники при наличии материальной оси вращения	П	скольжения	качения игольчатые	качения шариковые	качения роликовые	

3. Морфологическое описание вариантов строения конструктивного модуля приводной части установки

Характеристика приводной части		Варианты				
		1	2	3	4	5
Количество приводных элементов (роликов)	Р	1	2	3	4	5
Индивидуальность привода	С	на один приводной элемент	на все приводные элементы			
Конструкция привода	Т	фрикционный	шестеренный	цепной	сочетание разных	
Источник силы в нагрузочном устройстве	У	груз	пружина	пневмопривод	гидропривод	комбинированный
Настройка на обеспечиваемую скорость подачи	Ф	ступенчатая	бесступенчатая	отсутствует		

Таким образом, рассматривая морфологию строения конструктивной реализации совмещенной обработки, можно, выбирая различные сочетания характеристик, строить сначала технологические схемы обработки, а затем, на основе уже расчетного обоснования, разрабатывать новые конструкции установок включающих в себя весь цикл черновой и чистовой обработки, достигая при этом наивысшей производительности при обеспечении требуемого качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самоподнастраивающиеся станки / Под ред. Б.С. Балакшина. – М.: Машиностроение, 1967. – 400 с.
2. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник. – СПб.: Политехника, 1998. – 414 с.
3. Азаревич, Г.М., Кирсанова-Белова, У.В., Акимов, Б.И. Совмещение процессов резания и поверхностного пластического деформирования при автоматизированной токарной обработке валов // Вестник машиностроения. – 1985. – №1. – С. 46-52.
4. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 364 с.
5. Пат. 2247016 Россия, МПК 7 В 23 Р 23/04 Способ комбинированной режущо-деформирующей обработки и устройство для его осуществления / Смольников Н.Я., Отений Я.Н., Журавлев А.И., Никифоров Н.И.; ВолгГТУ. – 2005.
6. Коновалов, Е.Г., Сидоренко, В.А. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. – Минск: Высшейш. школа, 1968. – 364 с.
7. Шнейдер, Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением. – Л.: Машиностроение, 1971. – 248 с.
8. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 1 / Под общ. ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.

9. Зайдес, С.А. Новые способы поверхностного пластического деформирования цилиндрических деталей машин малой жесткости // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – №8 (86). – С. 16-24.

10. Справочник технолога / под общей ред. А.Г. Сулова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.

REFERENCES

1. Self-adjusting Machines / under the editorship of B.S. Balakshina. – M.: Mechanical Engineering. – 1967. – 400 p.
2. Shneider, Yu.G. Pressure Finishing Technology: Reference Book. – St. Petersburg: Politekhnik, 1998. – 414 p.
3. Azarevich, G.M., Kirsanova-Belova, U.V., Akimov, B.I. Combining Cutting and Surface Plastic Deformation Processes in Automated Shaft Turning // Bulletin of Mechanical Engineering. – 1985. – no.1. – PP. 46-52.
4. Polovinkin, A.I. Fundamentals of engineering creativity: manual. – St. Petersburg: LAN, 2017. – 364 p.
5. Patent Russia, no. 2247016. MPK 7 B 23 P 23/04 Method of Combined Cutting and Deforming Machining and Tool for its Implementation. / Smolnikov, N.Ya., Otений, Ya.N., Zhuravlev, A.I. VolgGTU. – 2005.
6. Konovalov, E.G., Sidorenko, V.A. Finishing and Strengthening Rotary Surface Machining. – Minsk: Vyshyeishaja Shkola, 1968. – 364 p.
7. Shneider, Yu.G. Tool for Finishing Metal Machining by Pressure. – Leningrad: Mechanical Engineering, 1971. – 248 p.
8. Technology and Tools of Finishing and Strengthening Machining of Parts by Surface Plastic Deformation: Reference Book. – M.: Mechanical Engineering, 2014. – 480 p.
9. Zaides, S.A. New Methods for Surface Plastic Deformation of Low-rigidity Cylindrical Machine Parts // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2018. – no. 8 (86). – PP. 16-24.
10. Industrial Engineer's Reference Book / under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Innovative Engineering, 2019. – 800 p.

*Рецензент д.т.н.
Юлий Львович Чигиринский*

