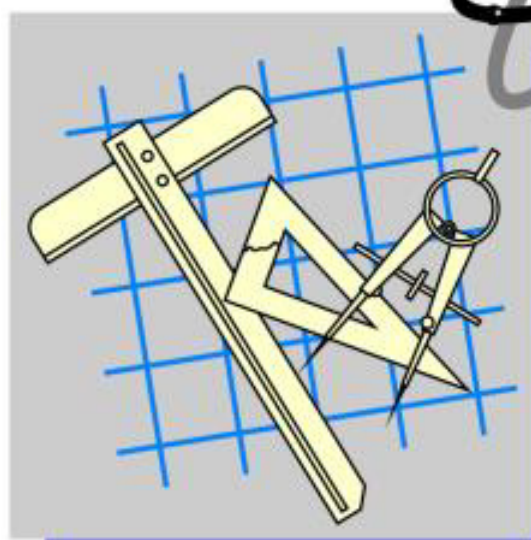
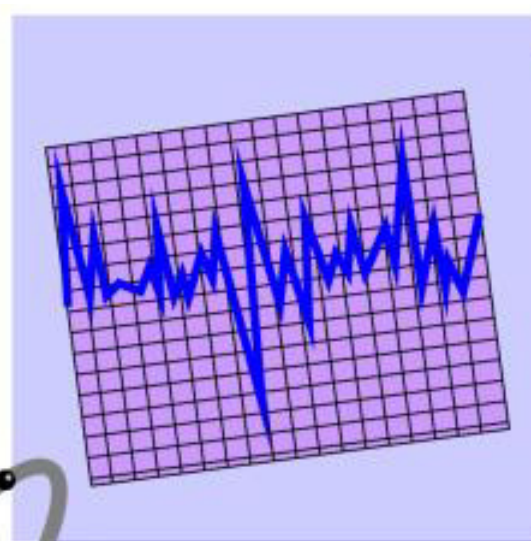


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№2 (32) 2021



ДОНЕЦК-2021



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 2(32) '2021

Донецк – 2021

УДК 62

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 4 июня 2021 г.)

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Учредитель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Чернышев Е.А.
Лахин А.М..

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Петряева И.А., Селивра С. А.

Адрес редакции:

ДонНТУ, каф. ТМ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
283001, г. Донецк
Тел.: +38-062-305-01-04
Факс: +38-062- 305-01-04

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный
технический университет», 2021

СТАНОК С ЧПУ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ РАБОТ

Глущенко Д.А., Лахин А.М., Горобец И.А. (кафедра ТМ, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: разработана конструкция фрезерного с ЧПУ станка для высокоэффективной контурной обработки изделий с использованием доступных технических и программных средств.

Ключевые слова: шаговый двигатель, станок с ЧПУ, контролер, обработка

В настоящее время происходит вытеснение станков с аналоговым, ручным управлением, у которых точность достигается методом пробных ходов и промеров, к оборудованию с ЧПУ. Применение такого оборудования обладает рядом преимуществ, среди которых: возможность быстрой настройки на обработку деталей сложной конфигурации, возможность использования универсального инструмента для обработки изделий сложного профиля, а также возможность хранения множества программ обработки на ПК и быстрой их загрузки на контролер.

Между тем ввиду стремительного развития и удешевления полупроводниковых приборов оборудование для оснащения станков системами ЧПУ становится все более доступным, что позволяет создавать доступные станки для выполнения, фрезерных, сверлильных работ, а также контурной вырезки стальных листовых изделий плазмой или лазерным лучом. Кроме того становится возможным оснащение системами ЧПУ универсальных металлорежущих станков путем внедрения для координатных перемещений инструмента сервоприводов с устройствами для их управления.

Целью данной работы является разработка конструкции универсального вертикально-фрезерного станка для контурной обработки изделий из древесины, полимерных материалов а также мягких цветных сплавов.

В качестве привода рабочих подач приняты шаговые двигатели типа NEMA 23, имеющие максимальный рабочий ток 2 А при рабочем напряжении на обмотках 3.6 В. Угол шага составляет 1.8 градусов, что соответствует перемещению 0.02 мм – при шаге винта 4 мм (на осях X и Y) и 0.01 мм – при шаге винта 2 мм (на оси Z). Для управления шаговыми двигателями используется контролер ТВ6560HQT (рис.1) который имеет

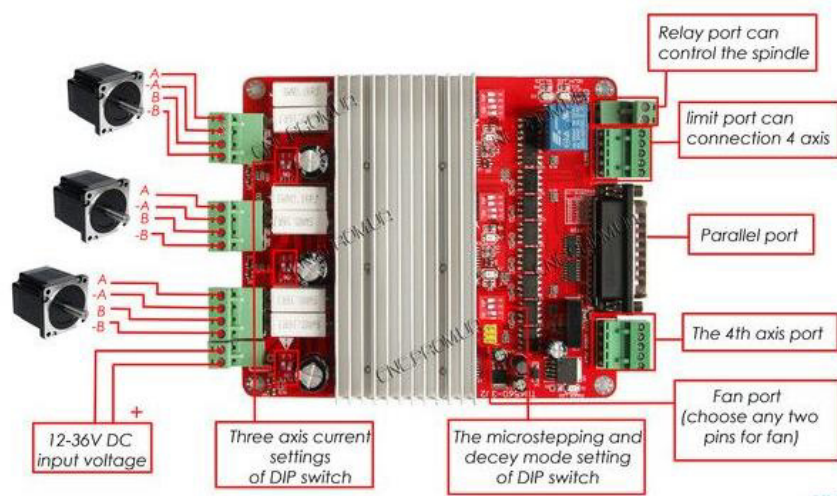


Рис.1. Контролер для управления шаговыми двигателями TD6560

ИНЖЕНЕР, № 2(31)'2021 г.
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

выводы для управления тремя шаговыми двигателями а также вывод для питания шпинделя для реализации главного движения резания. При этом контролер автоматически адаптирует рабочее напряжение на выводы электродвигателей, а также есть возможность регулировки рабочего тока в зависимости от параметров используемых электродвигателей.

Представленный контролер позволяет управлять биполярными шаговыми двигателями с максимальным током обмотки до 3.5 А. Также имеется возможность через выносной драйвер подключать 4й шаговый двигатель, если возможностей перемещения по 3 осям окажется недостаточно. Контролер позволяет обеспечить управление как в режиме полного шага, так и в режиме дробления шага 1/2, 1/8, и 1/16 шага. Напряжение питание контролера зависит от типа используемых шаговых двигателей и мощности привода шпинделя.

Для сопряжения с ПК служит параллельный (LPT) порт. управляющей программы на контролер реализуется с помощью различных программ, наиболее распространённая из которых МАСНЗ, заглавный интерфейс которой показан на рис.2. Данная программа позволяет выводить G –код на контролер, а также задавать параметры движения шаговых двигателей, управлять приводом шпинделя станка, выставлять инструмент на исходную позицию, управлять скоростью быстрых перемещений и пр. Создание G-кода для конкретной обработки реализуется в специализированных САПР, наиболее простая и доступная из которых ArtCAM. Возможности данного пакета позволяют создавать G-коды по 3Д модели детали или векторному изображению обрабатываемого объекта.

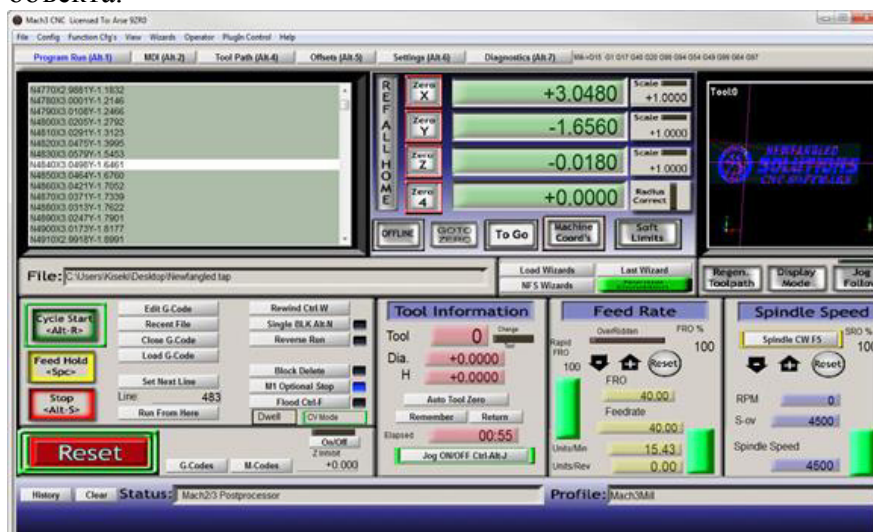


Рис. 2. Заглавный интерфейс программы МАСНЗ

При проектировании станка рассматривались два варианта реализации перемещений по осям X и Y а именно: перемещение рабочего стола относительно неподвижного шпинделя установленного в фиксированной позиции, перемещение шпинделя относительно неподвижного стола. Так как второй вариант обеспечивает значительно большее активное рабочее пространство и возможность устанавливать более габаритные детали, он был принят за основу конструкции.

Модель разработанного станка с ЧПУ представлена на рис. 3. В конструкции базой является стол станка, на котором устанавливается заготовка.

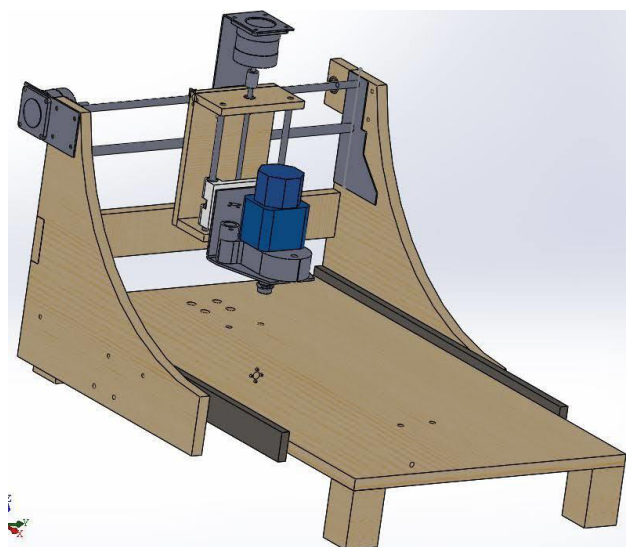


Рис. 3. Конструкция фрезерного с ЧПУ станка

Исходным требованием при проектировании станка являлись размеры рабочего пространства, определяющие габариты заготовок. Ограничивающими факторами являются длины ходовых винтов стандартной конструкции, которые составили по 500 мм для осей X и Y и 250 мм для оси Z. При этом размеры рабочего стола были приняты 400x700 мм ввиду необходимости размещения достаточно габаритных деталей и приспособлений для их закрепления. Материалом рабочего стола, а также боковых стоек, был принят гетинакс, так как данный материал обладает достаточной прочностью и жесткостью. В то же время боковые стойки были усилены металлическими листами в местах соединения направляющих штанг и двумя поперечинами, что требовалось для обеспечения требуемой жесткости станка.

Так как станок не предназначен для выполнения высокоточных работ, для перемещения шпиндельного блока выбрана передача винт-гайка с устройством упругого выбора зазора. Данная конструкция позволяет достигать точность позиционирования не менее 0.2 мм. Для опор поступательного перемещения приняты линейные подшипники, перемещающиеся по цилиндрическим штангам диаметром 8 и 12 мм.

Продольное перемещение вдоль оси Y реализовано посредством продольных плоских направляющих, а передача поступательного движения – за счет передачи винт-гайка. При этом гайка закреплена на кронштейне, который также соединен со стенками боковых стоек. Шаговый двигатель, а также опоры подшипников ходового винта прикреплены к нижней грани стола(рис.4).

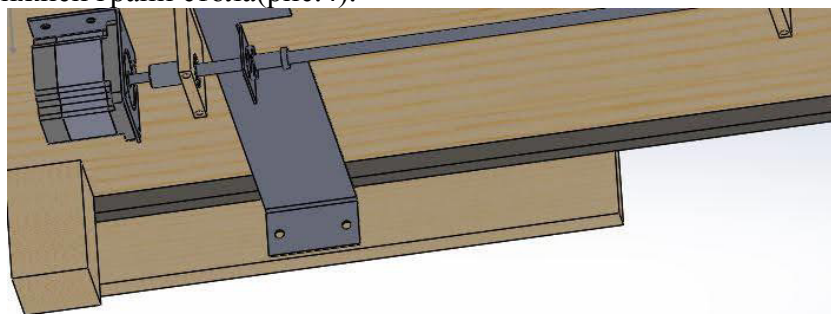


Рис.4. Привод перемещения по оси Y

Перемещение по оси X реализовано по двум цилиндрическим штангам с помощью линейных подшипников. Каретка с приводом оси Z и фрезерным шпинделем перемещается в поперечном направлении с помощью передачи винт-гайка с гайкой закрепленной в Г-образом кронштейне (рис.5).

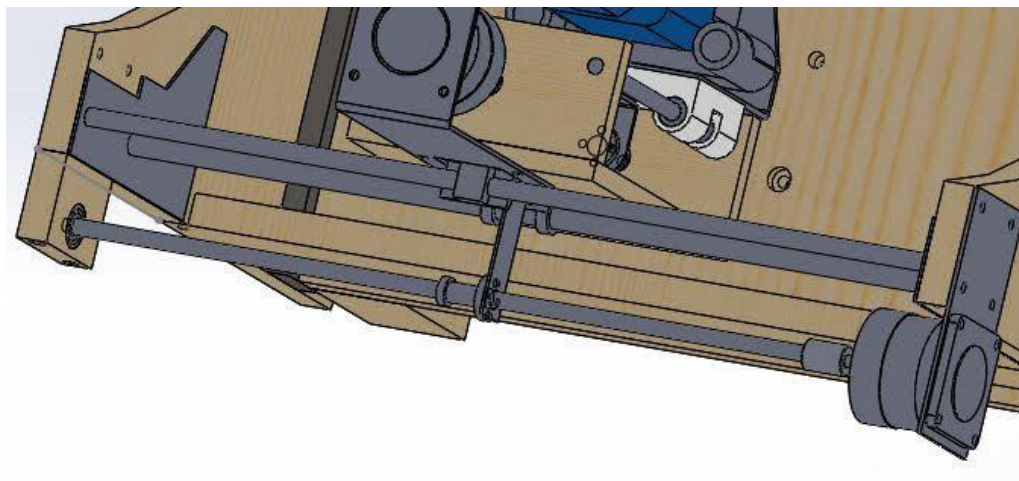


Рис.5. Привод перемещения по оси X

Аналогичным образом реализовано перемещение по оси Z.

В результате были достигнуты следующие длины перемещений шпиндельного блока: по оси Y – 460 мм, по оси X – 480 мм, по оси Z- 220 мм. Также за счет настроечного перемещения каретки оси Z есть возможность настройки габаритов рабочего пространства станка в пределах 200 мм.

В качестве шпинделя привода главного движения был выбран бытовой фрезер для столярных работ с мощностью 1,1 кВт и частотой вращения шпинделя 5000-30000 об/мин. Питание шпинделя реализовано от сети 220 В.. Привод шпинделя закреплен на салазках оси Z с помощью усиленного кронштейна.

Таким образом был спроектирован вертикально-фрезерный станок с ЧПУ, который позволяет выполнять контурную обработку деталей а также получение сложных криволинейных поверхностей в изделиях из древесины, полимерных материалах и алюминия. Данный станок может быть использован при изготовлении: мастер моделей для литейных работ, художественных изделий, а также изделий из легких сплавов.

Список литературы. 1. Звонцов И. Ф., Иванов К. М., Серебrenицкий П. П. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 588 с.: ил. 2. Калачев, О.Н. Моделирование CAD/CAM Simatrop механообработки на станках с ЧПУ/ Ярославский государственный технический университет. — Ярославль: 2013. — 30 с. 3. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. — 2-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА, 2014. — 355 с.

УДК 622.232.72

**УСТАНОВЛЕНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВИБРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА, ВСТРАИВАЕМОГО В ЗАБОЙНЫЕ
ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА
ТИПА 1ГШ68**

Лысенко Н.М. (*доцент каф. ГМ, ДОННТУ*), **Потапов В.Г.** (*профессор каф. ГМ, ДОННТУ*),
Лавров О. О. (*студент ДОННТУ*)

Высокие требования к техническому уровню современных выемочных комбайнов при наличии жестких ограничений их габаритных размеров, увеличение удельного веса вынимаемых угольных пластов с крепкими прослойками и присечками вмещающих пород, твердыми включениями делают весьма актуальными разработки, способствующие повышению надежности рассматриваемых машин на основе их оптимального проектирования как сложных динамических систем. Вместе с тем до настоящего времени в отрасли угольного комбайностроения сохраняется такое положение, когда при создании и совершенствовании комбайнов весьма мало внимания уделяется их динамическому анализу и синтезу, структурно-параметрической оптимизации. Существующие методики прогнозирования исходных данных для прочностных расчетов и выбора рациональных параметров силовых подсистем очистных машин далеко не всегда соответствуют современному уровню, часто базируются на статическом детерминированном подходе. В отличие от станкостроения, судостроения и ряда других отраслей машиностроения при создании комбайнов не используются в полной мере уже имеющиеся разработки по виброзащитным устройствам. Поэтому необходимы дальнейшие разработки и исследования с целью создания пакета эффективных виброзащитных устройств, обеспечивающих существенное снижение уровней динамической нагруженности силовых подсистем очистных машин с различными проектно-конструкторскими решениями.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований, проведенных на кафедре «Горные машины» ДОННТУ [1, 2, 3, 4 и др.], позволили сделать вывод о целесообразности встройки наряду с другими силовыми подсистемами современных высокоэнерговооруженных очистных комбайнов также и в их корпусные подсистемы (КП) соответствующих виброзащитных устройств (ВЗУ) с целью снижения динамической нагруженности отдельных узлов и элементов этих силовых подсистем и повышения на этой основе надежности всей машины в целом. При этом следует отметить, что в первую очередь целесообразно решать задачу снижения динамичности вертикальных составляющих опорных реакций очистных комбайнов, поскольку они гораздо выше их горизонтальных составляющих [5].

На основании вышесказанного на кафедре «Горные машины» ДОННТУ при выполнении ряда НИР были разработаны перспективные конструктивные схемы целого ряда ВЗУ, встраиваемых в опорно-направляющие механизмы современных высокоэнерговооруженных очистных комбайнов с учетом функциональных и конструктивных особенностей этих механизмов [6].

Если одноименные полости гидродомкратов регулируемых опорно-направляющих механизмов очистного комбайна между собой гидравлически связаны и работают по схеме гидравлического балансира (например, у серийных комбайнов 1ГШ68 и 2ГШ68Б), то в данном случае целесообразно использовать виброзащитное

устройство типа ВЗУ-IV, которое сравнительно просто может быть реализовано на базе этих серийных машин практически без изменения их конструкции. Принципиальная гидро-конструктивная схема данного ВЗУ приведена на рис. 1.

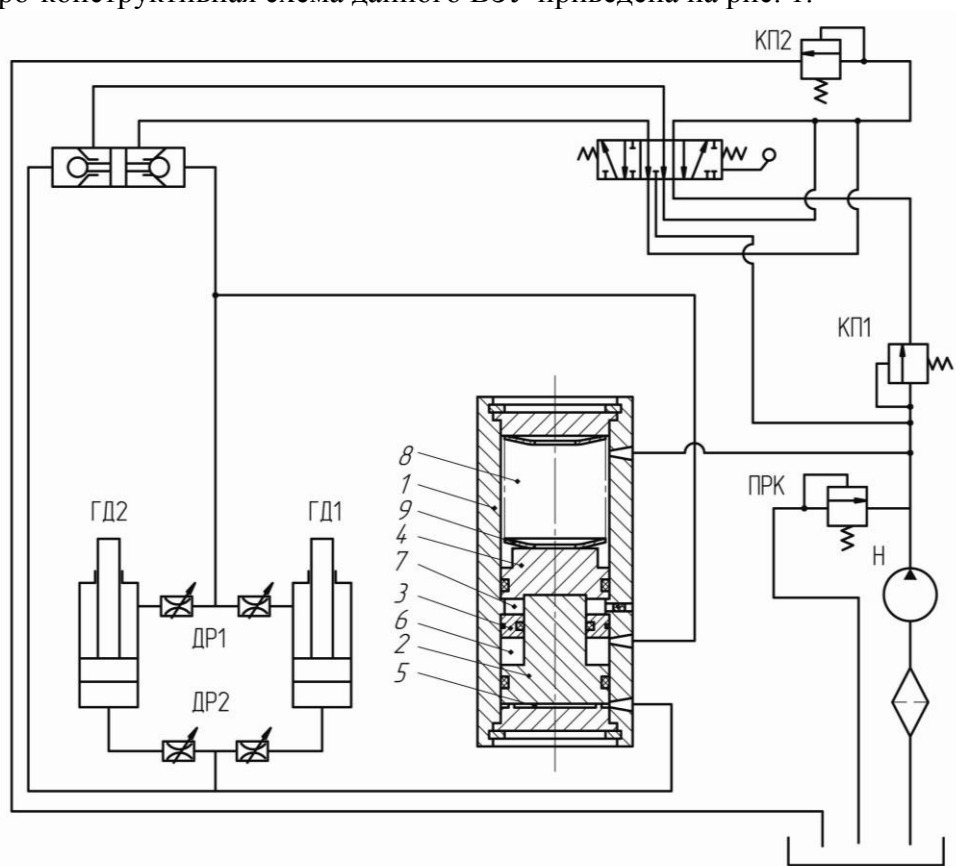


Рис. 1. Гидро-конструктивная схема виброзащитного устройства типа ВЗУ-IV

Указанное ВЗУ включает в себя гидромеханический аккумулятор 1 (ГМА), внутри корпуса которого содержится плунжер 2, грундбукса 3 и проставка 4, образующие поршневую 5 и штоковую 6 полости, а также камеры 7 и 8. Поршневая и штоковая полости соединены с одноименными полостями гидродомкратов регулируемых опор ГД1 и ГД2. В камере 8 соосно с плунжером расположен пакет тарельчатых пружин 9. Камера 8 подключена к напорной гидролинии насоса *H*, а камера 7 связана с атмосферой.

При конструктивной разработке рассматриваемого ВЗУ обязательно должно обеспечиваться равенство отношений между площадями поршневых и штоковых полостей соответственно гидродомкратов регулируемых опор ($S_n, S_{ш}$) и ГМА ($S_{на}, S_{ша}$):

$$\frac{S_n}{S_{ш}} = \frac{S_{на}}{S_{ша}}$$

Следует также отметить, что за счет подачи рабочей жидкости с необходимым давлением от напорной магистрали насоса *H* в камеру 8 ГМА будет обеспечиваться частичная разгрузка его упругого элемента от средних уровней нагрузок, формирующихся в регулируемых опорах комбайна, вследствие чего упругий элемент будет в основ-

ном воспринимать динамические составляющие указанных нагрузок. Это позволит при сравнительно небольших габаритах ГМА реализовать достаточно податливый упругий элемент, что будет способствовать повышению эффективности функционирования ВЗУ.

Принцип работы рассматриваемого ВЗУ состоит в том, что имеющие место при разрушении угольного массива пространственные колебания корпуса комбайна, будут сопровождаться перетеканием рабочей жидкости между одноименными полостями, как самих гидродомкратов регулируемых опор, так и между полостями данных гидродомкратов и соответствующими полостями ГМА, вследствие чего будет происходить рассеивание энергии пространственных колебаний корпуса комбайна за счет гидравлического сопротивления соединительных гидромагистралей и встроенных в них дросселей ДР1 и ДР2, а в конечном итоге, как результат, будет происходить снижение динамических нагрузок в элементах корпусной группы комбайна.

Указанный принцип работы данного виброзащитного устройства явился основанием для постановки и решения задачи по количественной оценке уровня демпфирующих сил, формирующихся в процессе перетекания рабочей жидкости между элементами гидросистемы регулируемых опор очистного комбайна 1ГШ68, при встройки в нее рассматриваемого виброзащитного устройства типа ВЗУ-IV. При этом по аналогии с гидравлическими амортизаторами [7] в качестве параметра, характеризующего рассеивание энергии колебаний целесообразно принять коэффициент сопротивления, отражающий зависимость перепада давления на рассматриваемом участке гидросистемы от скорости перемещения штоков гидродомкратов регулируемых опор относительно их цилиндров.

Наличие значительного числа факторов, влияющих на искомый коэффициент сопротивления, а так же различная природа формирующихся демпфирующих сил (с одной стороны за счет потерь давления при истечении рабочей жидкости и по относительно длинным трубопроводам и при прохождении различных местных сопротивлений [8], а с другой стороны за счет сил трения в уплотнительных элементах самих гидродомкратов [9]), обусловили необходимость постановки целенаправленного эксперимента для определения диссипативных характеристик рассматриваемого виброзащитного устройства.

Следует указать, что методикой экспериментальных исследований предусматривалось определение опытным путем только диссипативных характеристик, отражающих рассеивание энергии колебаний корпуса комбайна типа «галомирование» (характеризующихся обобщенной координатой φ). Это значительно упростило постановку эксперимента, но вместе с тем позволило с приемлемой инженерной точностью рассчитать диссипативные характеристики рассматриваемого ВЗУ (в виде соответствующих эквивалентных линеаризованных коэффициентов сопротивления) при вертикальных колебаниях корпуса комбайна (характеризующихся обобщенной координатой z) и типа «потапывания» (характеризующихся обобщенной координатой ψ) [3].

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры «Горные машины ДОННТУ на специальном стенде, см. рис. 2. В состав указанного стенда входили два гидродомкрата регулируемых опор комбайна 1ГШ68 (позиции 1 и 2), одноименные полости которых соединялись между собой гидромагистралями (также заимствованными из серийного комбайна 1ГШ68). В указанные гидромагистралы были встроены четыре гидроблока (позиция 3), включающие в себя регулируемые дроссели и

тензоманометры для измерения давлений P_1 , P_4 в характерных точках соединительных гидромагистралей. Перемещения штоков гидродомкратов относительно их цилиндров регистрировались при помощи реохордов R_1 и R_2 . В каждом опыте один из гидродомкратов принудительно растягивался нагрузочным устройством, см. рисунок 3, а другой гидродомкрат в это время синхронно сокращался.

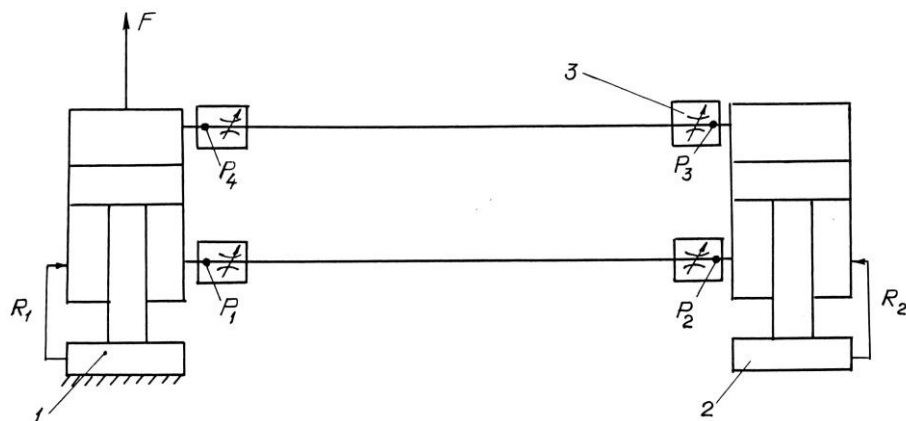


Рис. 2. Схема стенда для определения диссипативных характеристик виброзащитного устройства типа ВЗУ IV

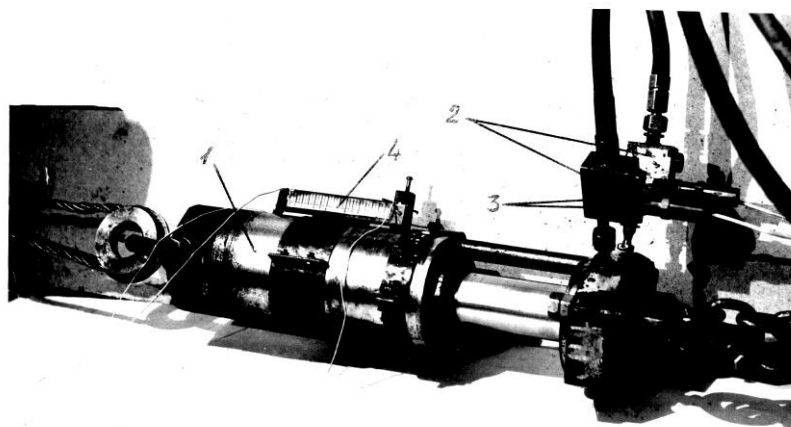


Рис.3. Гидродомкрат регулируемых опор комбайна 1ГШ68 с измерительными узлами: 1-гидродомкрат; 2-гидроблоки; 3 – тензоманометры; 4 – реохорд

При этом рабочая жидкость из штоковой полости первого гидродомкрата вытеснялась в штоковую полость второго гидродомкрата и соответственно из поршневой полости второго – в поршневую полость первого. Необходимо отметить, что в качестве рабочей жидкости использовалась смесь масел И-50 и трансформаторного, кинематическая вязкость которой в лабораторных условиях ($t \approx 20^{\circ}C$) составляла около $8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Примерно такую кинематическую вязкость имеет используемое в гидросистемах управления очистных комбайнов промышленное масло И-40А при $t=40^{\circ}C$. Указанная величина температуры соответствует примерно средней оценке температуры масла в ванной насоса НП-10 комбайна 1ГШ68 в процессе его работы, которая была установлена на основании целенаправленных замеров, проведенных научными сотруд-

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

никами кафедры «Горные машины» ДОННТУ в условиях ряда действующих лав угольных шахт (разброс при этом составил 30...60⁰С).

Управляющими факторами при постановке каждого опыта являлись:

- уровень настройки регулируемых дросселей;
- средняя скорость перемещения штоков гидродомкратов относительно их цилиндров ($V_{ш}$).

При этом в каждой серии опытов задавался какой-то один из пяти используемых уровней настройки дросселей (см. табл.1), а величина $V_{ш}$ плавно изменялась в пределах 0,9...6 $см \cdot с^{-1}$. Следует отметить, что указанный диапазон изменения $V_{ш}$ включает в себя зарегистрированную экспериментально [3] максимально возможную оценку этого параметра.

Таблица 1 – Параметры настройки регулируемых дросселей

Уровень настройки	1	2	3	4	5
Число оборотов запирающего элемента от крайнего (дроссель полностью закрыт) положения	0,5	0,75	1,0	1,5	3,0
Площадь проходного сечения дросселя, $см^2$	0,110	0,161	0,208	0,294	0,475

В качестве выходных данных при проведении экспериментальных исследований определялись величины потерь давления в зависимости от относительной скорости перемещения штоков гидродомкратов соответственно в гидромагистралях, соединяющих поршневые полости ($\Delta P_n = P_3 - P_4$) и штоковые полости ($\Delta P_{ш} = P_1 - P_2$) рассматриваемых гидродомкратов. Указанные зависимости, как следует из результатов обработки накопленных массивов выходных данных, ΔP_n и $\Delta P_{ш}$, достаточно корректно описываются выражениями вида: $\Delta P_n = a_n V_{ш}^2 + \epsilon_n V_{ш}$; $\Delta P_{ш} = a_{ш} V_{ш}^2 + \epsilon_{ш} V_{ш}$.

Численные значения коэффициентов $a_n, a_{ш}, \epsilon_n, \epsilon_{ш}$, полученные в результате сглаживания экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры зависимостей $\Delta P_n = \varphi_n(V_{ш})$ и $\Delta P_{ш} = \varphi_{ш}(V_{ш})$

Уровень настройки дросселей	1	2	3	4	5	Серийная гидросистема (дросселей нет)
$a_n, МПа \cdot с^2 \cdot см^{-2}$	0,24	0,20	0,15	0,14	0,10	0,04
$a_{ш}, МПа \cdot с^2 \cdot см^{-2}$	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,02
$\epsilon_n, МПа \cdot с \cdot см^{-1}$	0,82	0,62	0,66	0,67	0,71	0,68
$\epsilon_{ш}, МПа \cdot с \cdot см^{-1}$	0,56	0,49	0,45	0,49	0,50	0,50

На рисунке 4 в качестве примера приведены графики зависимости $\Delta P_{ш} = \varphi_{ш}(V_{ш})$ для 1-го (кривая 1) и 5-го (кривая 2) уровней настройки дросселей, а так же для гидросистемы регулируемых опор серийного комбайна (кривая 3).

Из анализа данных, приведенных в табл.2, следует, что доля суммарных потерь давления, пропорциональных квадрату относительной скорости перемещения штоков гидродомкратов, определяется в основном потерями на регулируемых дросселях и изменяются в довольно широких пределах в зависимости от площади дроссельной щели. Потери же давления, пропорциональные относительной скорости перемещения штоков гидродомкратов, которые обусловлены в основном силами вязкого трения между слоями жидкости при ламинарном режиме ее истечения в рассматриваемом диапазоне скоростей, характеризуются примерно постоянным значением коэффициентов ϵ_n и $\epsilon_{ш}$ (разброс численных значений указанных коэффициентов во всех сериях опытов относительно их средней величины не превышает 19%).

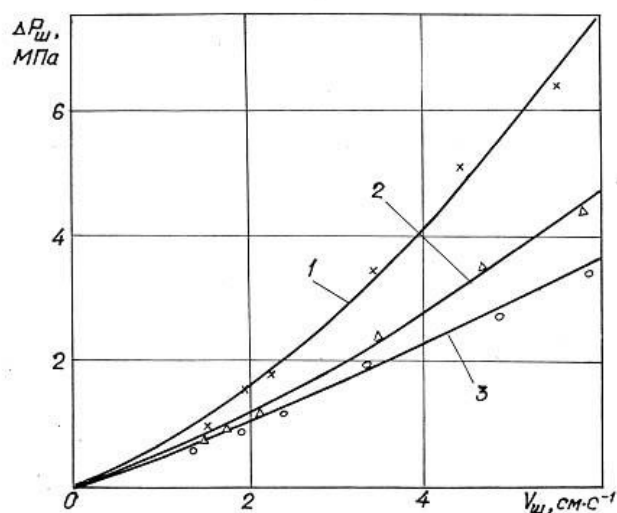


Рис. 4. Графики зависимости $\Delta P_{ш} = \varphi_{ш}(V_{ш})$

Если пренебречь незначительной величиной сил трения в уплотнительных элементах гидродомкрата при $V_{ш} \approx 0$, то зависимость потерь давления непосредственно в гидродомкрате ($\Delta P_o = P_2 \frac{S_{ш}}{S_n} - P_3$) от относительной скорости перемещения его штока также достаточно корректно может быть описана выражением вида: $\Delta P_o = a_o V_{ш}^2 + \epsilon_o V_{ш}$. При этом следует отметить, что уровень настройки дросселей практически не оказывает влияния на величину коэффициентов a_o и ϵ_o , численные значения которых, полученные в результате сглаживания экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, составили:

-при приведении сил сопротивления к поршневой полости гидродомкрата:

$$a_{он} = 0,005 \text{ МПа} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-2}; \quad \epsilon_{он} = 0,14 \text{ МПа} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-1};$$

-при приведении сил сопротивления к штоковой полости гидродомкрата:

$$a_{ош} = 0,007 \text{ МПа} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-2}; \quad \epsilon_{ош} = 0,21 \text{ МПа} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-1}.$$

Как видно из приведенных результатов, потери давления на преодоление сил трения в уплотнительных элементах гидродомкрата практически линейно зависят от $V_{ш}$ в рассматриваемом диапазоне ее изменения.

Полученные оценки выходных данных по результатам проведенных экспериментальных исследований позволяют определить величины эквивалентных линеаризи-

рованных коэффициентов сопротивления гидромагистралей K_n и $K_{ш}$, соединяющих между собой соответственно поршневые и штоковые полости гидродомкратов регулируемых опор комбайна 1ГШ68, при наличии в их структуре встроенного виброзащитного устройства типа ВЗУ-IV. Численные значения указанных коэффициентов могут быть рассчитаны на основании следующих зависимостей:

$$K_n = 0,849 \cdot V_{ш} (a_n + a_{\partial n}) + (\epsilon_n + \epsilon_{\partial n});$$

$$K_{ш} = 0,849 \cdot V_{ш} (a_{ш} + a_{\partial ш}) + (\epsilon_{ш} + \epsilon_{\partial ш}).$$

Следует отметить, что заложенная в этих зависимостях связь между эквивалентными лианеризированными коэффициентами сопротивления и входящими в них коэффициентами квадратичного сопротивления $a_n, a_{\partial n}$ и $a_{ш}, a_{\partial ш}$ вытекает из условия равенства работ при синусоидальных колебаниях сил сопротивления различной физической основы [7], а искомые эквивалентные лианеризированные коэффициенты сопротивления указанных соединительных гидромагистралей являются диссипативными параметрами ряда эквивалентных динамических схем соответствующих типов ВЗУ ранее разработанных на кафедре «Горные машины» ДОННТУ и подробно описанных в статье [10], на основе которых в свою очередь могут быть поставлены и проведены целенаправленные обширные модельные исследования по установлению рациональных динамических (в том числе и диссипативных) параметров этих ВЗУ, позволяющих достаточно существенно снизить уровень динамических нагрузок, формирующихся в силовых элементах корпусных подсистем высокоэнерго-вооруженных очистных комбайнов при выемке последними угольных пластов с высокой крепостью угля и наличием породных прослоек и твердых включений.

Список литературы: 1. Гуляев В.Г., Горбатов П.А., Кондрахин В.П. Оптимизация динамических свойств очистных комбайнов демпфирующими устройствами в силовых системах // Изв. вузов. Горный журнал- 1981.- №5.- С.79-83. 2. Горбатов П.А. Теория функционирования и совершенствование очистных комбайнов как нелинейных динамических систем. Дис...докт.техн.наук.-Донецк.-1991.-551с. 3. Лысенко Н.М. Снижение динамических нагрузок в корпусной группе очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами. Дис. ... канд. техн. наук. - Донецк.-1986.-266с. 4. Гуляев В.Г. Научные основы оптимизации динамических свойств очистных комбайнов демпфирующими устройствами. Дис...докт.техн.наук. -Донецк.-1985.-498с. 5. П.А. Горбатов, Н.М. Лысенко, И.Н. Марченко Методика определения и анализ статических и детерминированных составляющих нагрузок, формирующихся в опорно-направляющих устройствах очистных комбайнов// Изв. вузов. Горный журнал- 1994.- №1.- С.89-94. 6. Н.М. Лысенко, В.Г. Потапов Типовые конструктивные схемы виброзащитных устройств, встраиваемых в различные виды опорных механизмов очистных комбайнов с целью улучшения динамических параметров их корпусных подсистем // Сб. научных трудов международной XV научно-технической конференции «Механика жидкости и газа». –Донецк: ДонНТУ, 2018. С. 80-88. 7. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. – М. : Машиностроение, 1969. – 238с. 8. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика.–М.: Машиностроение, 1971. – 672с. 9. Типпман Г., Роговски Б. Анализ потерь на трение и критических скоростей для стандартных гидроцилиндров. В сб. : Детали машин. Вып. 35 – М.: ВИНТИ, 1976, С. 31-39. 10. Горбатов П.А., Лысенко Н.М. Эквивалентные динамические схемы виброзащитных устройств, встраиваемых в опорные механизмы очистных комбайнов//Научные труды ДонНТУ. Выпуск18(172), серия горноэлектромеханическая. – Донецк: ДонНТУ. 2010. С.26-39.

УДК 62-851.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА РФ-202М
С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATLAB SIMSCAPE**

Мамолат А.Г., Полтавец В.В.

(кафедра МСМО, ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР)

***Аннотация:** В статье рассмотрено моделирование пневматической системы промышленного манипулятора РФ-202М и её отдельных подсистем с помощью пакета SimScape среды MATLAB.*

***Ключевые слова:** пневматическая система, пневмопривод, механизм, моделирование, симуляция.*

Введение

Оборудование на основе пневматических систем находит широкое применение в современной промышленности благодаря своим достоинствам. Промышленная пневматика используется в таких отраслях как: металлообработка, машиностроение, пищевая индустрия, фармацевтика. Подобная популярность обусловлена прежде всего экономичностью и простотой в эксплуатации систем на основе пневматики. Принцип действия пневматической системы описывается следующим образом: компрессор создаёт запас сжатого воздуха, который по пневмопроводам подаётся к распределительным устройствам, а от них – к пневматическим цилиндрам, которые командуют исполнительными механизмами, совершающими целевое движение. Подобные системы могут быть как максимально простыми, так и довольно сложными, содержащими большое количество взаимодействующих пневмоэлементов. Наряду с положительными качествами пневмосистемы обладают рядом недостатков, вытекающих из природы рабочей среды – воздуха. Воздух обладает высокой сжимаемостью, ввиду чего он при сжатии накапливает энергию, которая при известных условиях может превратиться в кинетическую энергию движущихся масс и вызвать ударные нагрузки. Вследствие этого пневматические силовые системы не обеспечивают без специальных дополнительных средств необходимой плавности и точности хода. Сжимаемость воздуха в пневмосистемах исключает возможность непосредственной фиксации органов управления в заданных промежуточных положениях. В равной мере в пневмоприводе затруднительно получение при переменной нагрузке равномерной и стабильной скорости движения рабочих органов. Подобные недостатки можно частично нивелировать ещё на этапе разработки пневматической системы благодаря математическому моделированию.

Рассмотрим особенности моделирования пневматических систем с использованием пакета SimScape среды MATLAB.

Основное содержание работы

Объектом моделирования была выбрана пневматическая система промышленного манипулятора РФ-202М. Она имеет достаточно простую структуру и позволяет сравнивать результаты математической модели с экспериментальными. Основным движением манипулятора РФ-202М является вращение звена с запястьем и захватом вокруг неподвижной вертикальной оси, жестко прикреплённой к полу. Подобное вращение достигается благодаря двухстороннему пневматическому цилиндру и кривошипно-шатунному механизму, который преобразует поступательное движение штока

цилиндра во вращательное движение выходного звена с запястьем и захватом [1]. Исходя из вышесказанного, объектом моделирования был выбран двухсторонний пневматический цилиндр.

Для математического моделирования был использован пакет SimScare среды MATLAB. Пакет Simscare предназначен для создания, моделирования и симуляции междисциплинарных физических систем в среде Simulink. Каждый блок математически описывает определённую часть системы или механизма, что упрощает создание модели [2]. Готовая модель двухстороннего пневмопривода с клапаном управления и моделью кривошипно-шатунного механизма представлена на рис. 1.

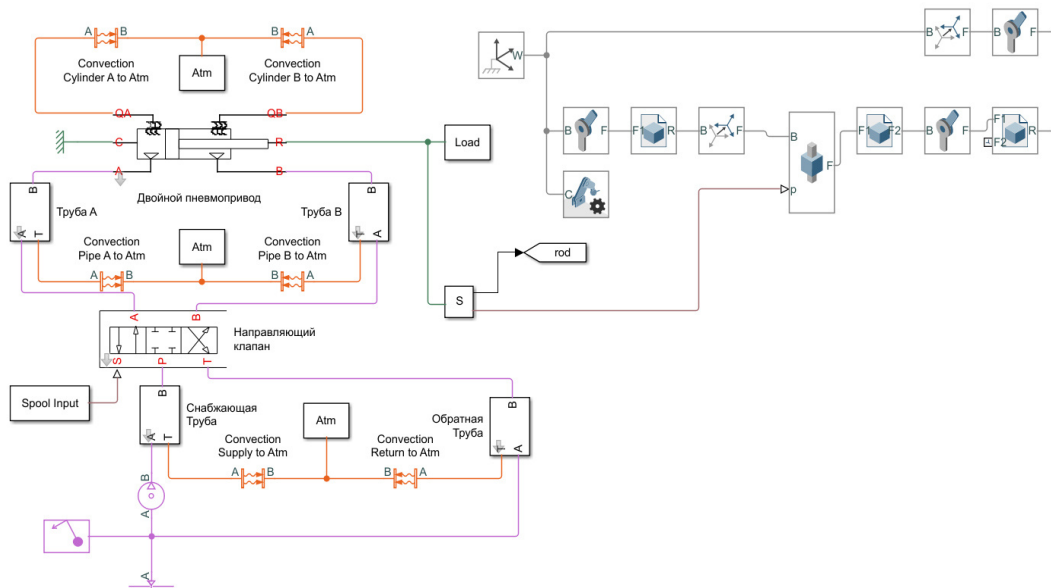


Рис.1. Модель двухстороннего пневмопривода с клапаном управления и с кинематическим механизмом, построенная в среде Simulink

Направляющий клапан — это замаскированная подсистема, созданная из блоков переменного локального ограничения для моделирования открытия и закрытия путей потока (рис. 2)[2].

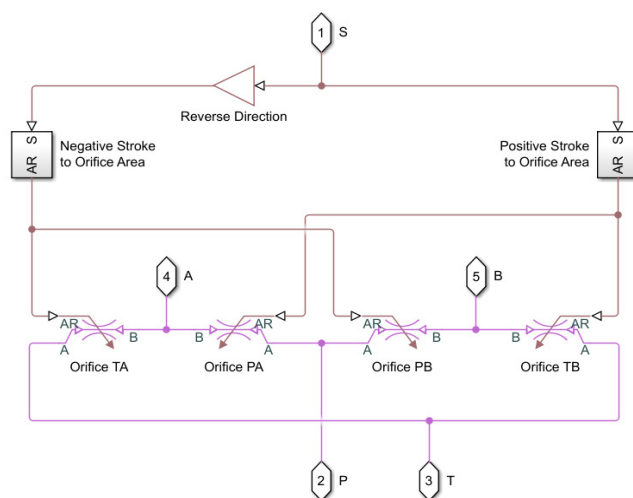


Рис. 2. Модель подсистемы блока направляющего клапана

Двойной пневмопривод – это замаскированная подсистема, созданная из блоков трансляционного механического преобразователя для моделирования интерфейса между газовой сетью и механической поступательной сетью (рис. 3) [2].

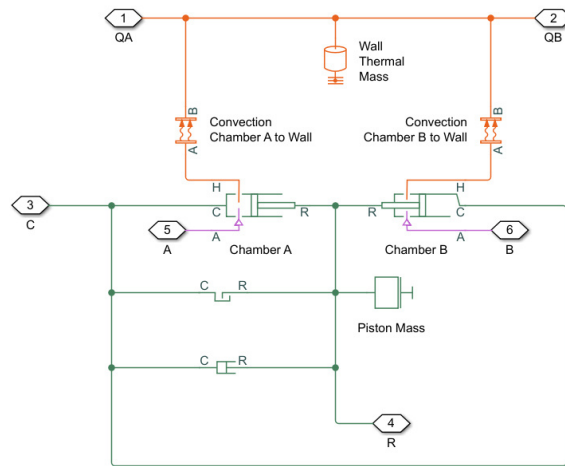


Рис. 3. Модель подсистемы блока двойного пневмопривода

Построенная модель позволяет учитывать нагрев и расширение рабочего газа во время работы, что позволяет получить более точные результаты.

Взаимная работа блока двойного пневмоцилиндра и блоков, описывающих кинематический механизм, достигается с помощью кинематических связей. Таким образом возможна симуляция движения описываемой модели в программе MATLAB (рис. 4).

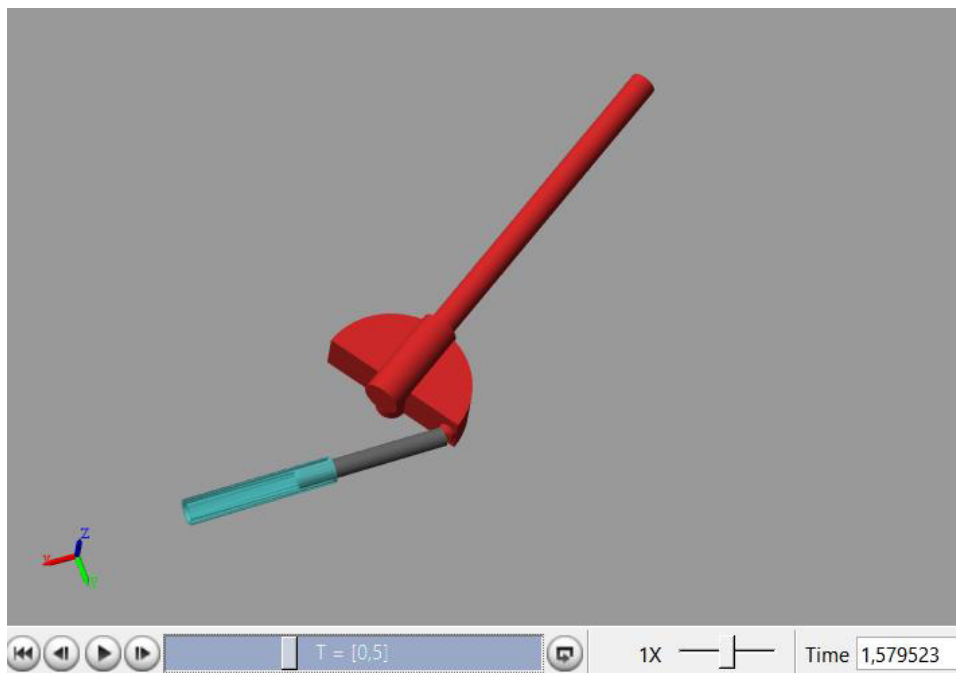


Рис. 4. Окно с симуляцией движения элементов кривошипно-шатунного механизма в среде MATLAB

Проведём симуляцию работы пневматической системы с такими конструктивными и эксплуатационными показателями [1]: длина выдвижения штока – 100мм, длина каждой трубы – 3000 мм, диаметр трубы – 10 мм, диаметр поршня – 40 мм, температура окружающей атмосферы – 24 градуса по Цельсию, температура рабочего газа – 24 градуса по Цельсию, давление рабочего газа – 3 атмосферы.

Результаты моделирования пневматической системы промышленного манипулятора РФ-202М представлены на рис. 5.

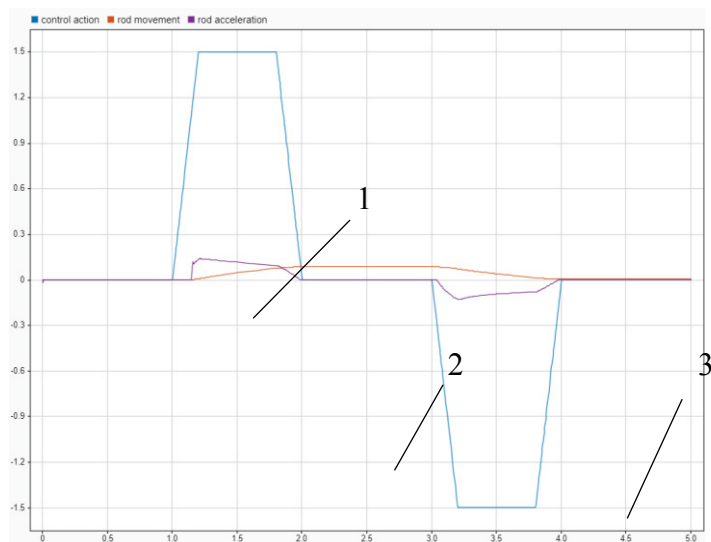


Рис. 5. Изменение параметров пневматической системы промышленного манипулятора РФ-202М: 1 – управляющий сигнал; 2 – перемещение штока; 3 – ускорение штока

Анализируя график на рис. 5, можно заметить непостоянное ускорение звена (кривая 3 – rod acceleration), а также инерционность отработки управляющего сигнала (линия 1 – control action). Согласно полученному графику, движение поршня пневмопривода (линия 2 – rod movement) начинается только через 0,2 секунды после подачи управляющего сигнала с нехарактерным рывком [3]. Подобное поведение пневматической системы может свидетельствовать о недостаточном давлении в магистрали пневмопривода.

Вывод

Построенная симуляционная модель может быть использована для анализа выходных характеристик пневматической системы промышленного манипулятора РФ-202М и выявления направлений её совершенствования.

Список литературы: 1. Промышленный манипулятор РФ-202М. Технический паспорт. – 1992. – 315 с. 2. Дьяконов, В.П. Simulink 4. Специальный справочник / В.П. Дьяконов. – СПб: Питер, 2002. – 211 с. 3. Крамарь, В.А. Моделирование мехатронных модулей движения / В.А. Крамарь, А.А. Кабанов, В.В. Альчаков // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. – Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – С. 5-13.

УДК 621.9

ПРОГРАМИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ С КОЛЕСАМИ
МЕКАНУМ

Андреев Э.В., Гаврилова А.С, Цокур В.П.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Для многофункциональных тележек с роликонесущими колесами необходимы специальные приводы на каждое колесо, устройства управления и соответствующие программы. В работе приведена конструкция тележки с четырьмя колесами Меканум и программы для осуществления перемещений.

Ключевые слова: Роликонесущие колеса, платформа, программа, привод, меканум

Введение

Многофункциональные тележки с роликонесущими колесами позволяют осуществлять перемещения в различных направлениях и по любым траекториям [1]. В зависимости от назначения платформы могут быть на Омни колесах с осями роликов 90° к оси вращения колеса и колесах Меканум, где оси роликов расположены под 45° [2]. Для обеспечения необходимой траектории движения тележки нужно программное обеспечение, разработанное непосредственно под имеющуюся задачу, поэтому исследование и создание программ, является актуальной задачей.

Основное содержание и результаты работы

Меканум колеса, у которых угол оси ролика равен 45° , позволяют использовать классическую компоновку колес – два слева и два справа, давая возможность модернизации существующих четырех колесных платформ. Меканум колесо по сравнению с рулевым не имеет дополнительного трения при повороте, что является очевидным плюсом, но движение в сторону в силу конструкции будет менее эффективным чем вперед.

Для осуществления передвижения в различные направления необходимо вращать колеса в определенном порядке. Самые простые варианты движения тележки с меканум колесами это вперед и назад, для этого колеса вращаются, как и стандартные четыре вперед или четыре назад. Выполнение нулевого поворота нулевого радиуса возможно при вращении колес левого борта в отличную от колес правого. Также возможно вращение вокруг оси каждого колеса (вращая колеса противоположного борта в одно направление) и вокруг передней и задней оси (вращая колеса противоположной оси в разные стороны). Перемещение по диагонали осуществляется с помощью вращения двух диаметрально расположенных колес в одну сторону. Боковое перемещение выполняется при использовании всех четырех колес, для этого колеса одного борта должны вращаться в разные стороны, а второго так же в разные, но отличные от зеркально расположенных к ним колес. Совмещая последние описанные два способа перемещения и задавая разные скорости колесам, можно добиться прямолинейного движения под любым углом. На рисунке 1 большой стрелкой в геометрическом центре показано направление движения тележки, при направлении вращения колес, указанного маленькой стрелкой возле колес.

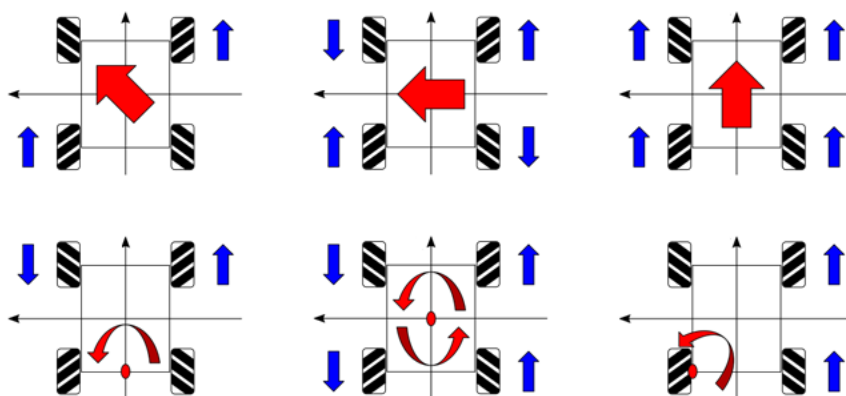


Рис. 1. Схема движения платформы с меканум колесами

В основе тележки лежит плоская платформа, оснащающаяся 4 приводами с редукторами, которые обеспечивают независимое вращение каждого колеса в два направления.

При расчётах принимали, что тележка представляет собой твердую платформу, с недеформируемыми колесами, а движение происходит по неподвижной горизонтальной плоскости.

Представлено решение обратной и прямой кинематической задача для 4-колесного транспортного средства [4].

Обратные кинематические уравнения позволяют рассчитать четыре независимые угловые скорости колес, необходимые для получения, желаемой скорости и вращения транспортного средства.

Прямые кинематические уравнения предсказывают движение транспортного средства, учитывая угловые скорости четырех колес. Определим систему координат на виде сверху с началом координат, равноудаленным от всех четырех колес, ось X направлена вперед, а ось Y влево.

Пусть $[V]$ будет 3×1 матрица $[V_x \ V_y \ \omega_v]$, которая представляет собой желаемую поступательную и вращательную скорость транспортного средства в один момент времени, ω_v положительна и направлена против часовой стрелки.

Пронумеруем четыре колеса 1, 2, 3, 4, начиная с переднего левого колеса и двигаясь против часовой стрелки. Пусть (X_n, Y_n) координаты центра n-го колеса. Пусть Θ_n угол против часовой стрелки к оси X, под которым расположена ось ролика n-го меканум колеса, соприкасающегося с горизонтальной поверхностью. Предположим, что все четыре колеса параллельны оси X. Пусть радиус каждого колеса будет r .

Обратная кинематическая задача состоит в том, чтобы найти матрицу 4×1 $[\Omega] = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4]'$, которая представляет угловые скорости 4-х колес, которые дают желаемую $[V]$ [4].

Другими словами, мы ищем матрицу 4×3 $[R]$ такую, чтобы

$$[\Omega] = \left(\frac{1}{r}\right) [R][V], \quad (2.1)$$

где $[R]$ позволяет нам вычислить $[\Omega]$, учитывая $[V]$.

Так как транспортное средство является твердым телом, компоненты поступательной скорости транспортного средства V_x и V_y находятся в центре каждого колеса.

Каждое колесо также имеет дополнительную составляющую скорости X и Y , обусловленную скоростью вращения транспортного средства ω_v , заданной:

$$V_{xrn} = -Y_n \omega_v; V_{yrn} = X_n \omega_v \quad (2.2)$$

Поэтому общая линейная скорость V_n в центре каждого колеса определяется векторными компонентами:

$$V_{xn} = V_x + V_{xrn} = V_x - Y_n \omega_v$$

и

$$V_{yn} = V_y + V_{yrn} = V_y + X_n \omega_v \quad (2.3)$$

Вектор линейной скорости $V_n = [V_{xn} \ V_{yn}]$ на каждом колесе разбивается на два вектора, один из которых параллелен оси X ($A\hat{i}$), а другой перпендикулярен оси ролика, контактирующего с поверхностью ($B\hat{u}$) (рис. 2). Величина компонента, параллельного оси X , равна:

$$\omega_n \cdot r = V_{xn} + V_{yn} \cdot \tan(\theta_n), \quad (2.4)$$

подставляя V_{xn} и V_{yn} из уравнения 2.3, получаем:

$$\omega_n \cdot r = (V_x - Y_n \cdot \omega_v) + (V_y + X_n \cdot \omega_v) \cdot \tan(\theta_n), \quad (2.5)$$

и поэтому скорость вращения каждого колеса определяется:

$$\omega_n = \left(\frac{1}{r}\right) \{ (V_x - Y_n \cdot \omega_v) + (V_y + X_n \cdot \omega_v) \cdot \tan(\theta_n) \} \quad (2.6)$$

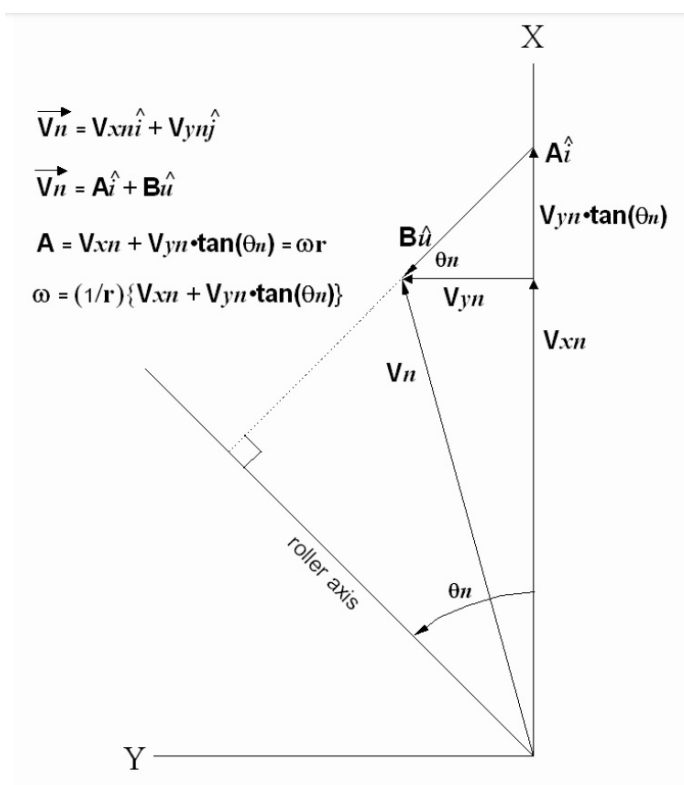


Рис. 2. Линейные векторы

Из уравнение 2.6 получим скорость вращения каждого колеса ω_n (4 элемента матрицы $[\Omega]$) как линейную функцию от $[V]$ и константы r , X_n , Y_n и n . Следовательно, матрица $[R]$ имеет вид:

$$\begin{array}{l} 1 \quad \tan(\Theta_1) \quad (X_1 \cdot \tan(\Theta_1) - Y_1) \\ 1 \quad \tan(\Theta_1) \quad (X_2 \cdot \tan(\Theta_2) - Y_2) \\ 1 \quad \tan(\Theta_1) \quad (X_3 \cdot \tan(\Theta_3) - Y_3) \\ 1 \quad \tan(\Theta_1) \quad (X_4 \cdot \tan(\Theta_4) - Y_4) \end{array}$$

Зная, что Θ_2 и $\Theta_4 = 45$ градусов, а Θ_1 и $\Theta_3 = -45$ градусов, упростим:

$$\begin{array}{l} 1 \quad -1 \quad (-X_1 - Y_1) \\ 1 \quad 1 \quad (X_2 - Y_2) \\ 1 \quad -1 \quad (-X_3 - Y_3) \\ 1 \quad 1 \quad (X_4 - Y_4) \end{array}$$

Предположим, что все X_n имеют одинаковую величину, и все Y_n имеют одинаковую величину [7], то $K = \text{abs}(X_n) + \text{abs}(Y_n)$. Затем матрица упрощается до:

$$\begin{array}{l} 1 \quad -1 \quad -K \\ 1 \quad 1 \quad -K \\ 1 \quad -1 \quad K \\ 1 \quad 1 \quad K \end{array}$$

Теперь рассмотрим прямую кинематическую задачу для приведенного выше частного случая, т. е. найдем матрицу 3×4 $[F]$ такую, чтобы

$$[F][\Omega](r) = [V],$$

другими словами, учитывая скорости вращения четырех колес $[\Omega]$, найдем результирующее движение транспортного средства $[V]$.

Эта проблема, в общем случае, не имеет решения, поскольку представляет собой переопределенную систему одновременных линейных уравнений. Физический смысл этого таков: если для четырех колес выбраны четыре произвольные скорости вращения, то, как правило, нет движения транспортного средства, которое не включало бы некоторую "очистку" колеса (скольжение) по поверхности. Однако можно найти матрицу $[F]$, которая генерирует решение наименьших квадратов "наилучшего соответствия"[4].

Начнем с обратного кинематического уравнения:

$$[\Omega](r) = [R][V],$$

умножим обе стороны на транспонированную матрицу $[R]$:

$$[R]'[\Omega](r) = [R]'[R][V]$$

умножим обе стороны на обратную $[R]'[R]$:

$$(([R]'[R]) - 1)[R]'[\Omega](r) = (([R]'[R]) - 1)[R]'[R][V],$$

правая часть приведенного выше уравнения – это просто $[V]$, так что:

$$(([R]'[R]) - 1)[R]'[\Omega](r) = [V].$$

Пусть $[F] = (([R]'[R]) - 1)[R]'$, тогда:

$$[F][\Omega](r) = [V].$$

Используя упрощенную обратную матрицу $[R]$, прямая матрица $[F]$ легко вычисляется как:

$$\begin{array}{cccc} 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \\ -1/4 & 1/4 & -1/4 & 1/4 \\ -1/(4K) & -1/(4K) & 1/(4K) & 1/(4K) \end{array}$$

Выводы

Обратные кинематические уравнения, полученные в ходе исследования позволяют получить четыре независимые угловые скорости колес, необходимые для обеспечения желаемой скорости транспортного средства. Благодаря вычислению скоростей самодвижущая тележка сможет получать необходимые значения угловых скоростей и саморегулироваться.

Спроектированная кинематическая модель позволяет разработать эффективное программное обеспечение по управлению самодвижущейся тележкой и обеспечить быстрые расчеты необходимых величин.

Список литературы: 1. Журнал «Мой робот» «Робот с фотодатчиком для следования по линии» - http://myrobot.ru/stepbystep/r_firstbot2.php. 2. Saha S. K. The design of kinematically isotropic rolling robots with omnidirectional wheels / S. K Saha, J. Angeles, and J. Darcovich, Mech. Mach. Theory, vol. 30, no. 8, Nov. 1995, pp. 1127–1137. 3. Putov, V.V. Mobile manipulation platform control / V. V. Putov, A. V. Putov, K.V. Ignatiev, M. M. Kopichev, J. Asiedu–Baah / Intern. Rev. of Automatic Control. Praise Worthy Prize. 2014 Vol. 7, iss. 4 P. 412–419. 4. Дискуссионный форум «Анализ кинематики механум, омни и воздействия сил» - <https://www.chiefdelphi.com/t/paper-mecanum-and-omni-kinematic-and-force-analysis/106153>

PARTICULARITIES OF THE TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL STRUCTURES
WHEN PROCESSING ON MACHINING CENTERS

Toca A., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.

(Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova)

In the paper the analysis of the dimensional structure of different manufacturing process is made. There is shown that different schemes of designer sizes result in a different level of an optimality of a dimensional structure. At definition of number of the technological sizes as criterion of optimality it is necessary to allow both formation of the intermediate sizes and the effect of error's compensation. The detail subjected to machining, is characterized by constructive dimensional links which reflect, eventually, its functionality. The character of the constructive dimensional links is defined by the designer who takes into account the technological features of machine tools, but not to detriment of functionality.

It is shown, that at machining the technological dimensional structures are optimum if they are similar to the design dimensional structure of a detail. The conditions of the locating and fastening, and also some technical requirements interfere achievements of similarity. In these cases the directed change of the design dimensional structure of a detail is recommended due to recalculation of the sizes. From this point of view creation of technological process represents a compromise of mutual rapprochement of the dimensional structures of a detail and of a technological system.

Key words: machining, technological dimensional structures, design dimensional structure, mutual rapprochement

¶

1. INTRODUCTION

Designing of technological process of a detail's manufacturing is very responsible stage of works. From quality of designing of technological processes, from their depth of study in many cases respects efficiency of the manufacture, size of initial costs, and also costs connected with elimination of mistakes depends. The dimensional analysis takes a special place during designing technology, concerning the stage of designing, and also the stage of technological designing [1–4].

Historically they developed so, that in the beginning technologies were developed in conditions of application of the universal equipment with technological opportunities connected with one method of processing. It gave an opportunity to use a principle of overlapping of bases to achieve the accuracy of the sizes during a set of operations.

The structures of technological processes for the manufacture of parts on machining centers, in particular the dimensional aspect, have their own characteristics and, therefore, differ significantly from technologies for conventional machine tools.

Identifying and taking into account these features is important to ensure the required accuracy of the part and the effective use of expensive machine tools.

The nature of these structural features of technological processes at the Machining Centers lies in the maximum centralization of processing due to sequentially performed operation elements using various cutting tools. The work pieces is usually processed from one or two installations, which means the fullest use of the principle of the unity of the bases. The multi-functional modern equipment also allows to form a complex of surfaces variously located from each using other various methods of processing. The problem of maintenance the accu-

racy of the sizes is solved using of a principle of unity of bases due to effect of errors compensation.

In the same time, the detail subjected to machining, is characterized by constructive dimensional links which reflect, eventually, its functionality. The nature of the constructive dimensional links is defined by the designer who takes into account the technological features of machine tools, but not in detriment of their functionality. Therefore, carrying out of the dimensional analysis on a joint of these two phases it is very important with the purpose of improvement of dimensional adaptability to manufacturing of made details.

One of most complicated problems during the elaboration of the manufacturing process is the synthesis of dimensional structure. It is necessary to execute not only dimensional analysis of a developed manufacturing process but also to achieve on this basis the optimum dimensional structure.

2. OPTIMALITY CRITERIA FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES

The detail subjected to machining, is characterized by constructive dimensional links which reflect, eventually, its functionality. The nature of the constructive dimensional links is defined by the designer who takes into account the technological features of machine tools, but not to detriment of their functionality. Therefore, carrying out the dimensional analysis between these two phases it is very important with the purpose to improve the dimensional adaptability to manufacturing of details made.

It is known that the manufacturing process is considered optimum, if in the structure of all technological dimensional chains the number of the technological sizes is minimal [1]. This condition is respected if for each constructive size corresponds, within the technological dimensional chain, the unique technological size (fig. 1), and in dimensional chains for machining allowances, each machining allowance is determined by two technological sizes or one technological size and one size on blank (fig. 2). The last has two technological sizes formed at the other phase of a manufacturing process. The minimum possible number of the

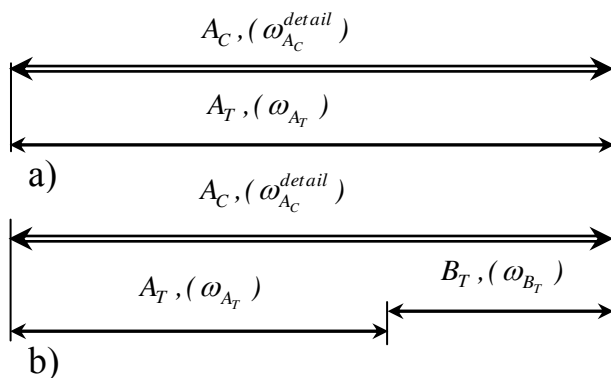


Fig. 1. The constructive size is submitted:

- a) only by the technological size, $\omega_{A_C}^{detail} = \omega_{A_T}$;
 b) by the technological size and one (it is possible more) in already existing (historical) size,
 $\omega_{A_C}^{detail} = \omega_{A_T} + \omega_{B_T}$

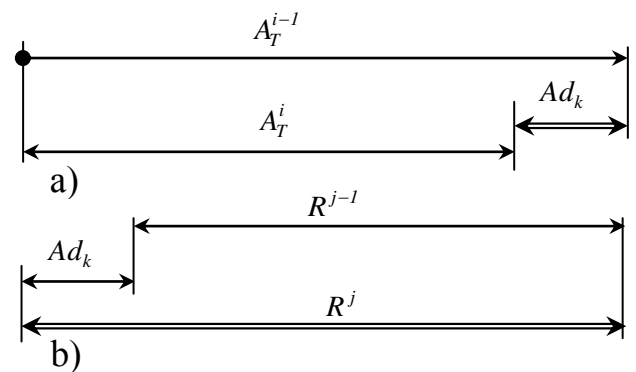


Fig. 2. Two opportunities of transformation of the technological sizes:

- a) it is direct and under the control over technological base, $\omega_{Ad_k} = \omega_{A_T^{i-1}} + \omega_{A_T^i}$; b) it is not direct, as consequence of direct formation of other size,
 $\omega_{R^j} = \omega_{R^{j-1}} + \omega_{Ad_k}$.

technological sizes $N_{T_{MIN}}$ is determined from the relation $N_{T_{MIN}} = N_C + 2 \cdot N_{Ad}$, where N_C -

number of the constructive sizes, N_{Ad} - number of machining allowances. The optimum manufacturing process becomes ideal, if each surface is processed only once, thus providing the final constructive size.

It is necessary to note, that the dimensional optimality is not entirely characterized by the number N_T , but it is necessary to take into account the growth (sometimes complicated) of the technological sizes' accuracy (a case of formation of the sizes as closing link of dimensional chains).

One of methods to create the optimum technological processes is the observance of a similarity principle of the technological and constructive dimensional links graphs [5].

Let's consider this approach an example of a graph of linear constructive dimensional links (fig. 3). This graph has two poles - two important constructive bases which should be used as technological bases. At the first installation, after machining a surface 1 with the use of a surface 6 as technological contact base (TCB), the surface 1 becomes adjusting technological base from which the sizes B_T and C_T are formed. During the second installation two technological adjusting bases (TAB) - surfaces 6 (TAB1) and 5 (TAB2) are used consistently.

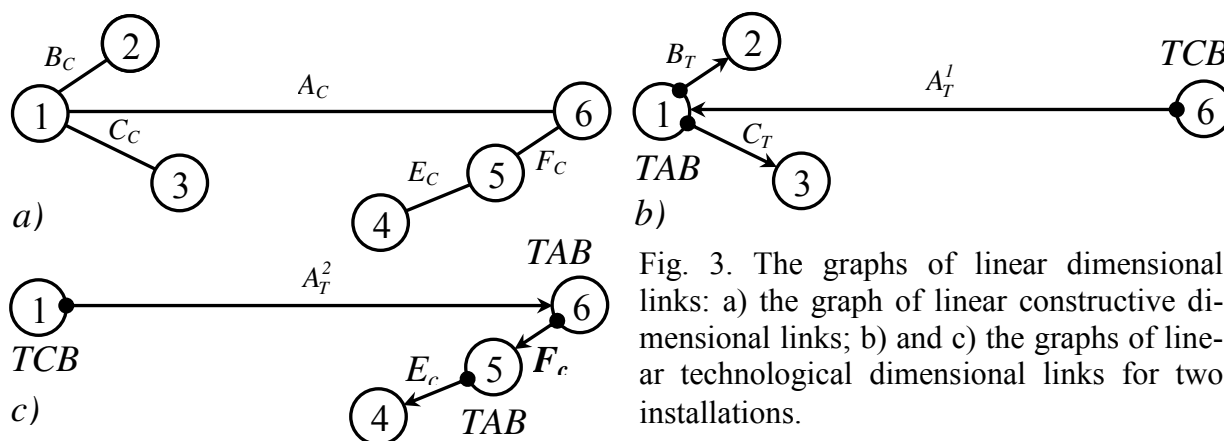


Fig. 3. The graphs of linear dimensional links: a) the graph of linear constructive dimensional links; b) and c) the graphs of linear technological dimensional links for two installations.

It is visible, that the structure of the graph of the technological linear dimensional links completely coincides with structure of the graph of constructive linear dimensional links. As a result of it, the accuracy of the constructive sizes is formed directly in conformity with the figure 1,a.

In the case, for example, of the constructive dimensional links shown on fig. 4,a by the first installation, the machining of surfaces is similar to the previous example (fig. 4,b). During the second installation, there is a problem of sequence of operation elements connected to the presence of bifurcation in unit 7 from which outcome two equivalents which mutually exclude each other's continuations (fig. 4,c).

The solution in this situation is the change of the constructive sizes on a line with a lower accuracy, replacing the size C_c by the size C_c^* according to the dimensional link $C_c = C_c^* - G_c$, in which the replaced size C_c is the closing (fig. 4,d,e). In this case, by the second installation the surface 7 is machined, and it becomes a technological adjusting base TAB1 for machining the surfaces 3, 5 and 6, and the surface 6 becomes a technological adjusting base BTR2 for machining the surface 4.

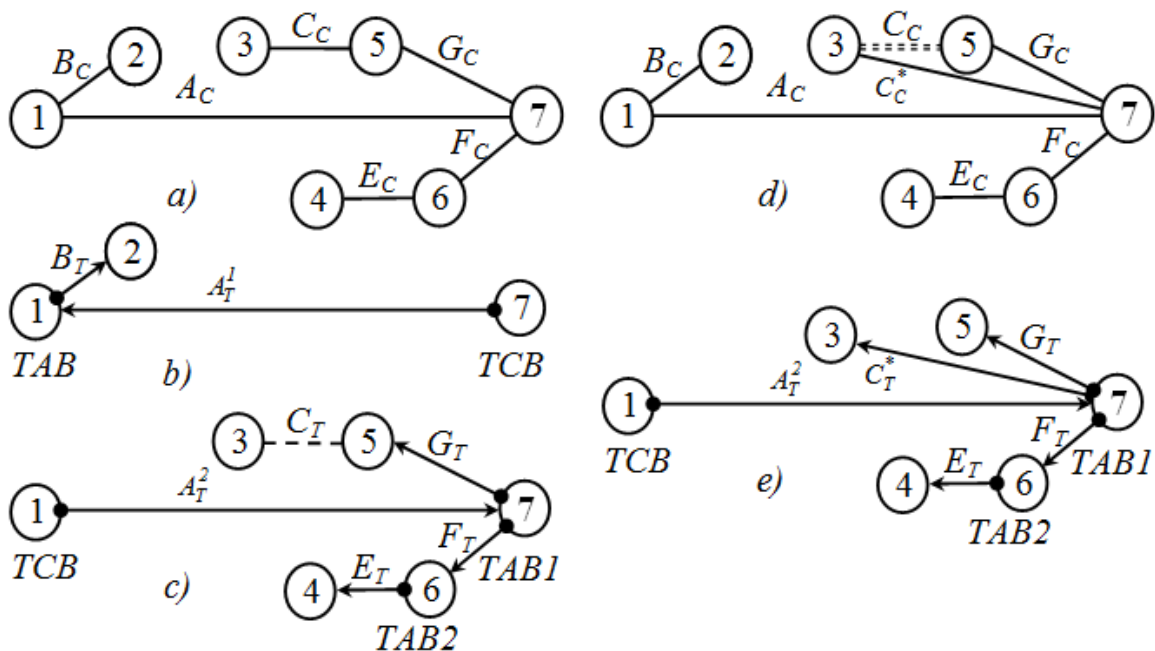


Fig. 4. The graphs of linear dimensional links with bifurcation in unit: a) of the linear constructive dimensional links; b) and c) of the linear technological dimensional links for the first installation and the second installation with bifurcation in the nod 7; d) of the linear constructive dimensional links after recalculation of the sizes; e) of the linear technological dimensional links for the second installation without a bifurcation in the nod 7

In the processing of parts on machining centers, contact the technological base is an surface of the part (blank), coming in contact with a support surface of the device structure. The difference (on the lathe processing) is that as a baseline to make the link between the dimensional systems of machine tools and workpiece here serves the axis of revolving table. Thus, between the dimensional systems of machine tools and of workpiece is an intermediate element, a dimension D_L^{detail} formed in the structure of the device by the size D_L^{device} (fig. 5, b).

In the process (fig. 5), as initial technological adjusting bases ($TAB0$) serves the center of rotation of the revolving table 0 , at which is formed the technological size A_T in two stages by rotating table at 180° . The size A_T consists of two parts A_{T1} and A_{T2} (fig. 5, b). From the initial technological adjusting base $TAB0$ is formed the technological size A_{T1} (is processed the surface 1), surface 1 becomes technological adjusting bases $TAB1$, from with successively are formed the sizes B_T and C_T (are processed the surfaces 2 and 3). After the

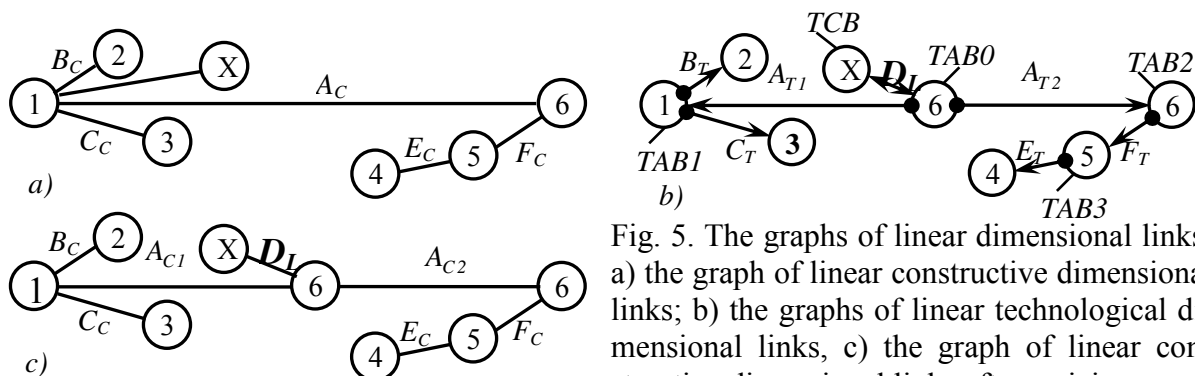


Fig. 5. The graphs of linear dimensional links: a) the graph of linear constructive dimensional links; b) the graphs of linear technological dimensional links, c) the graph of linear constructive dimensional links after resizing

180° rotating table at the initial technological adjusting bases TAB_0 is formed the technological size A_{T_2} (is processed surface 6); surface 6 becomes technological adjusting bases TAB_2 , from with is formed the size F_T (is processed the surface 5); surface 5 becomes technological adjusting bases TAB_3 , from with is formed the size E_T (is processed the surface 4). Of the related can be concluded that the processing of body parts type on machining centers need right from the start to be resized piece as shown in Fig. 5,с.

From fig. 5 we can conclude the need for resizing the piece supplementary for surface X , which initially is spotted on the surface 1 to be spotted from the axis 0. One sees that the role of the surface X can be played by any surface, including 1 and 2.

The constructive resizing of the part consists to replace a size with the another so that dimensional systems of the initial part and again to be equivalent (Fig. 6).

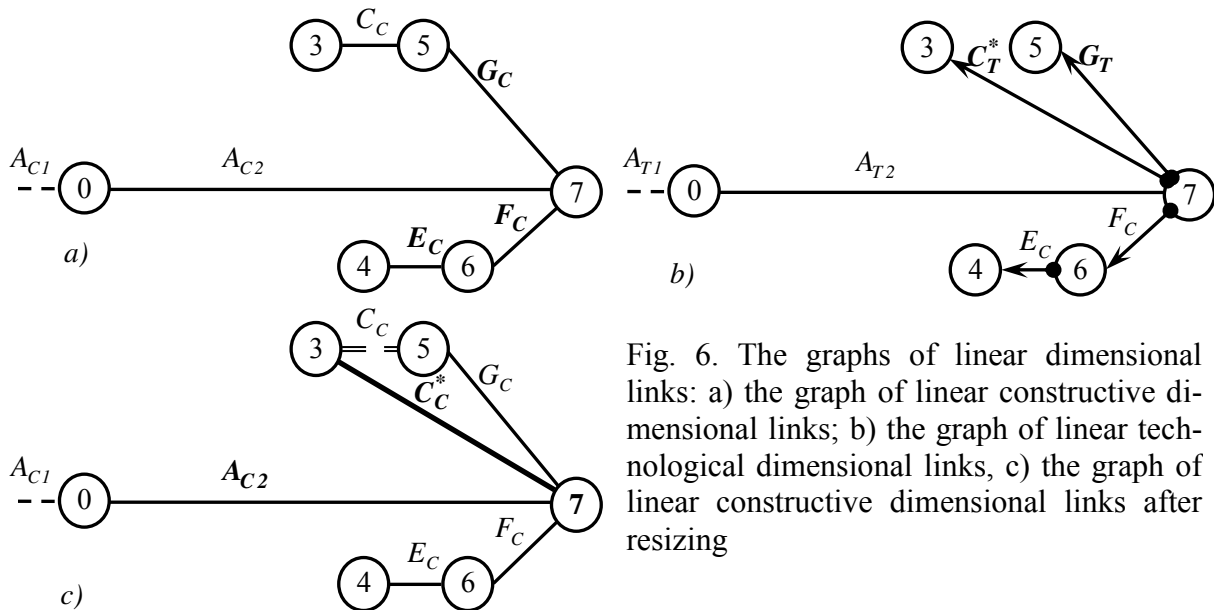


Fig. 6. The graphs of linear dimensional links: a) the graph of linear constructive dimensional links; b) the graph of linear technological dimensional links, c) the graph of linear constructive dimensional links after resizing

3. CONSTRUCTIVE RESIZING

Constructive resizing is made with utilisation the ‘replacing’ and ‘connection’ technological sizes at the same step of accuracy. It is known that the quality class of accuracy (tolerance) are

characterized by the number of tolerance units a and IT6 step since the geometric progression with ratio $q=1,6$ form. Unit of tolerance i (for the range of nominal sizes up to 500) is calculated from relationship $i=0,45\sqrt[3]{N}+0,001\cdot N, \mu m$.

The tolerances of the sizes ‘replaced’, ‘replacing’ and ‘connection’ (fig. 7) will be respectively: $\omega_{C_c} = a_{C_c} \cdot i_{C_c}$, $\omega_{C_c^*} = a_{C_c^*} \cdot i_{C_c^*}$, $\omega_{G_c} = a_{G_c} \cdot i_{G_c}$. There $a_{G_c} = a_{C_c^*} = a^*$ reflects the equality of the step of accuracy for the sizes C_c^* and G_c . Units of tolerance values are different $i_{C_c^*} \neq i_{G_c}$ due to different nominals. Because

$$\omega_{C_c} = \omega_{C_c^*} + \omega_{G_c}, \quad \text{we}$$

$$\text{have } a_{C_c} \cdot i_{C_c} = a_{C_c^*} \cdot i_{C_c^*} + a_{G_c} \cdot i_{G_c} = a^* \cdot (i_{C_c^*} + i_{G_c}).$$

Then, the number of units of tolerance for ‘replacing’ and ‘connection’ sizes will be:

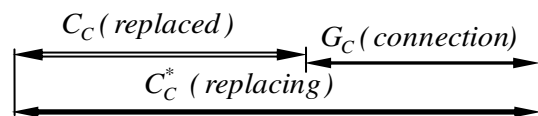


Fig.7. The dimensional chains for resizing

$$a^* = a_{C_c} \cdot \frac{i_{C_c}}{i_{C_c}^* + i_{G_c}}, \text{ and } \omega_{C_c^*} = a^* \cdot i_{C_c^*} \text{ and } \omega_{G_c} = a^* \cdot i_{G_c}.$$

When re-dimensioning by formation of the ‘replacing’ and ‘connection’ technological sizes at the same step of accuracy is necessary to take into account the effects of errors’ compensation [6]. It is possible that by one branch the effects of errors compensation are more severe than in the other branch.

As a consequence, the dimensional chain for all derivative constructive sizes are powered up with only two links and a technological accuracy of the machine tool are transferred to a detail lost-free. As the surfaces are formed sequentially from each other, the phenomenon of compensation of errors operates. Then for fig. 4,e it is possible to write:

Constructive size			Technologic size		
	tolerance	limit deviations		tolerance	limit deviations
A_c	ω_{A_c}	ES_{A_c}, EI_{A_c}	A_t	$\omega_{A_t} \leq \omega_{A_c} + 2\omega_{7-1}^{comp}$	$ES_{A_c} + \omega_{7-1}^{comp}, EI_{A_c} - \omega_{7-1}^{comp}$
G_c	ω_{G_c}	ES_{G_c}, EI_{G_c}	G_t	$\omega_{G_t} \leq \omega_{G_c} + 2\omega_{5-7}^{comp}$	$ES_{G_c} + \omega_{5-7}^{comp}, EI_{G_c} - \omega_{5-7}^{comp}$
C_c^*	$\omega_{C_c^*}$	$ES_{C_c^*}, EI_{G_c^*}$	C_t^*	$\omega_{C_t^*} \leq \omega_{C_c^*} + 2\omega_{3-7}^{comp}$	$ES_{C_c^*} + \omega_{3-7}^{comp}, EI_{C_c^*} - \omega_{3-7}^{comp}$
F_c	ω_{F_c}	ES_{F_c}, EI_{F_c}	F_t	$\omega_{F_t} \leq \omega_{F_c} + 2\omega_{6-7}^{comp}$	$ES_{F_c} + \omega_{6-7}^{comp}, EI_{F_c} - \omega_{6-7}^{comp}$
E_c	ω_{E_c}	ES_{E_c}, EI_{E_c}	E_t	$\omega_{E_t} \leq \omega_{E_c} + 2\omega_{4-6}^{comp}$	$ES_{E_c} + \omega_{4-6}^{comp}, EI_{E_c} - \omega_{4-6}^{comp}$

Conclusions

- for guaranteed assurance of dimensional accuracy it is necessary to adapt mutually the technological dimensional structures of operations with design dimensional structures of entities (blank, a detail in process, a detail) received after the previous operations including resizing of these entities;
- the effects of errors compensation permit to execute the sizes component links of dimensional chain (the technologic sizes) with a lower accuracy than that determined trough the method of maximum and minimum.

References. 1. Perminov A. V. The synthesis of dimensional structure of technological processes of machining with the help of a matrix of the dimensional chains. The News of High Schools. Mechanical engineering. Moscow, 2002, Nr 4, pp. 26-30. 2. Morozov I. A., Saranchin A. V., Bezborodov N. A. Application of the modern means of calculation of the dimensional chains in manufacture of a small arms. The technics of mechanical engineering. Moscow, 2003, Nr. 6, pp. 14-17. 3. Kuzmin V. V., Shurigin Iu. L. A choice of the optimum parameters of accuracy of the linear and angular sizes of details by criterion of the cost price of their manufacturing. Automation and modern technologies. Moscow, 1994, Nr. 5, pp. 16-22. 4. Poleakov V. K. The analysis of the sizes of details with the help of graphs. News of High Schools. Mechanical engineering. Moscow, 1989, Nr 7, pp. 52-56. 5. Toca A. About the mutual influence of design and technological dimensional structures at creation of the optimum technological processes to machining. Modern Technologies, Quality and Innovation, 2010, pp. 623-626. 6. Toca A., Stingaci I., Rushica I. The effects of error’s compensation in machining. Proceedings of Modern Technologies, Quality and Innovation – ModTech 2012, pp 953-956.

О ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЯХ С ДРУГИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Гребенюк А., Скорикова А.О., Корецкая И. Н.

(кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Рассматриваются геометрические задачи на построение.**Ключевые слова:** линейка, прямая, диагональ, отрезок, окружность

В чертежной практике широко пользуются угольником, двусторонней линейкой и другими инструментами [1]. Поэтому, было бы неправильно рассматривать эти инструменты как не заслуживающие теоретического изучения.

В этой статье рассмотрим некоторые примеры построений с различными другими инструментами.

Пример 1. Разделить данный угол пополам, пользуясь только двусторонней линейкой.

Решение (рис. 1). Приложить линейку одним краем к одной из сторон угла, а по другому краю провести прямую. Повторить эту операцию для второй стороны угла. Точка пересечения проведенных прямых расположена на биссектрисе данного угла. Соединить ее с вершиной.

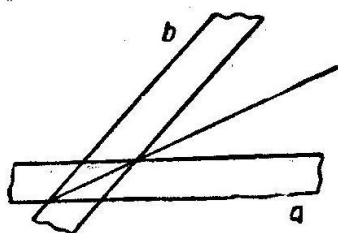


Рис. 1 Деление угла пополам

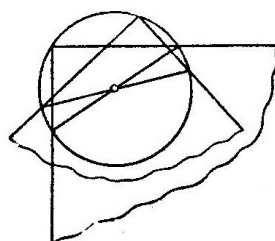


Рис. 2 Построение центра окружности

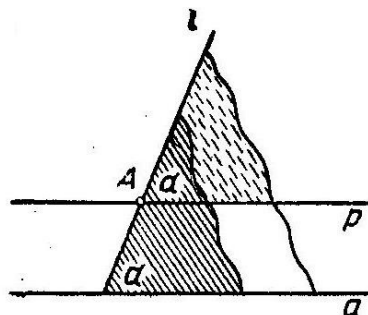


Рис.3 Построение параллельной прямой

Пример 2. Построить центр начерченной окружности, пользуясь только прямым углом.

Ход решения виден из рисунка 2. Угол два раза помещают вершиной на окружности и отмечают точки пересечения сторон угла с окружностью. Соединяя эти точки попарно, получим два диаметра окружности.

Пример 3. Через данную точку провести прямую, параллельную данной прямой, пользуясь только данным углом.

Пусть (рис. 3) a — данная прямая, A — данная точка. Расположим данный угол так, чтобы одна из его сторон совпала с прямой a , а другая проходила через точку A . Проведем прямую l по второй стороне угла. Передвинем угол вдоль прямой настолько, чтобы его вершина попала в точку A . После этого достаточно провести по стороне угла, не совпадающей с прямой l , прямую p , которая и будет искомой.

Пример 4. Через данную точку A провести прямую, параллельную данной прямой a , пользуясь только двусторонней линейкой.

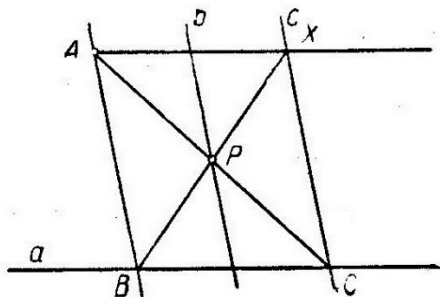


Рис.4 Использование двусторонней линейки.

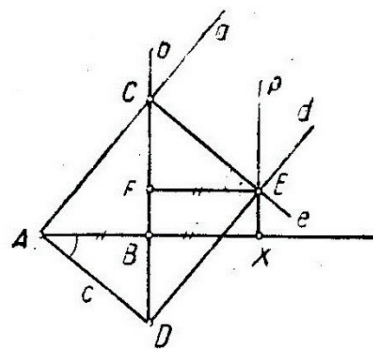


Рис.5 Использование прямого угла.

Выберем на прямой a произвольную точку B (рис. 4). Построим прямую AB . Проведем по одну сторону от прямой AB последовательно две параллельные ей прямые b и c . Пусть вторая из этих прямых, прямая c , пересечет прямую a в точке C , прямая AC пересечет прямую b в точке P , а прямая BP пересечет прямую c в точке X . Тогда четырехугольник $ABCX$ есть параллелограмм, потому что его диагонали AC и BX взаимно делятся пополам. Поэтому AX — искомая прямая.

Пример 5. Удвоить данный отрезок AB , пользуясь только прямым углом.

Проведем через данную точку A (рис. 5) произвольную прямую a , через точку B прямую $b \perp AB$. Пусть прямые a и b пересекутся в точке C . Проведем еще через точку A прямую $c \perp a$, и пусть эта прямая встретится с прямой b в точке D . Проведем через D прямую $d \perp c$, а через C прямую $e \perp a$, и пусть прямые d и e встретятся в точке E . Если теперь X — основание перпендикуляра p к прямой AB , проведенного из точки E , то $BX=AB$, так что $AX = 2AB$, и задача решена. В справедливости последнего соотношения легко убедиться, если построить прямоугольный треугольник CEF . Тогда $\triangle CEF = \triangle DAB$ по гипотенузе и острому углу, так что $AB=EF$. В свою очередь, очевидно, $EF=BX$.

Для доказательства этого предложения приведем прежде всего список основных построений, которые выполняются циркулем и линейкой ограниченных размеров. Построения эти следующие.

1*. Построить отрезок, соединяющий две построенные точки A и B , если $AB < l$.

2*. Построенный прямолинейный отрезок AB неограниченно продолжить в направлении AB или в направлении BA . (Точный смысл построения 2* состоит в следующем: если построен отрезок AB , то, каков бы ни был построенный отрезок CD , всегда можно построить такой отрезок AM , содержащий отрезок AB , что $AM > CD$, и такой отрезок BN , содержащий отрезок BA , что $BN > CD$.)

3*. Построить окружность, центр которой находится в построенной точке и радиус которой равен построенному отрезку $r_0 < r$.

4*. Построить общие точки двух построенных линий (если такие точки существуют).

5*. Построить произвольное конечное число точек, принадлежащих построенной фигуре.

6*. Построить точку, заведомо не принадлежащую некоторой построенной фигуре.

Решим теперь некоторые вспомогательные задачи посредством циркуля и линейки ограниченных размеров. Ради определенности будем предполагать в дальнейшем, что $r < l$.

Задача 1. На данном прямолинейном отрезке $ЛВ$ отложить от точки $А$ отрезок, равный построенному отрезку CD ($CD < AB$).

Если отрезок CD не превышает $г$, то решение общеизвестно. В противном случае откладываем на отрезке CD от точки $С$ и на отрезке AB от точки $А$ отрезок $г$ последовательно до тех пор, пока оставшаяся часть отрезка CD не станет меньше $г$, после чего откладываем на отрезке AB также эту оставшуюся часть.

Задача 2. Построить середину данного (начерченного) отрезка AB .

Если $AB < 2г$, то можно применить обычный прием.

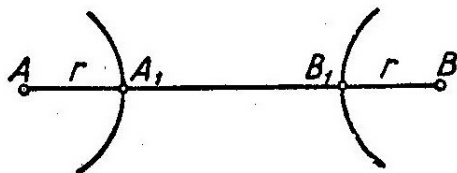


Рис. 7. Построение середины отрезка.

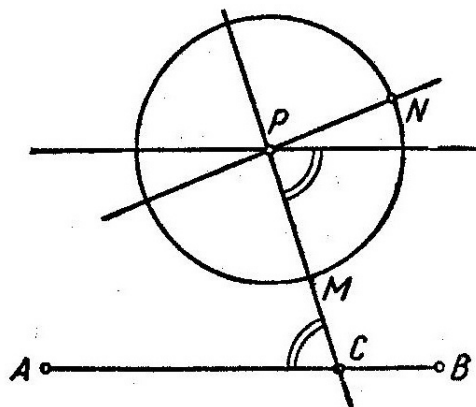


Рис. 8. Построение параллельного отрезка.

В противном случае можно отложить на отрезке AB от обоих его концов по отрезку $г$ и искать середину полученного таким образом отрезка A_1B_1 (рис.7). Такое «укорачивание» данного отрезка придется, быть может, произвести несколько раз.

Задача 3. Через построенную точку P провести отрезок прямой, параллельно построенному отрезку AB (рис. 8).

Построим окружность $\omega(P, r_0)$, где $r_0 < r$. Пусть M и N — какие-либо две точки этой окружности, не лежащие на одном диаметре этой окружности. Очевидно, что по крайней мере одна из прямых PM и PN пересекает прямую AB . Поэтому при достаточном продолжении отрезков PM , PN и AB , каждый в обе стороны, непременно окажется построенной хотя бы одна из точек пересеченной прямой AB с прямой PM или PN . Пусть для определенности PM пересекается с AB в точке C . В пересечении образуется некоторый угол. Остается построить при точке P равный ему накрест лежащий угол. Построение угла, равного данному, может быть выполнено общеизвестным способом, независимо от ограничений в размерах инструментов.

Список литературы: 1. Люстерник Л.А. Выпуклые фигуры и многогранники. – М.; ГИТТЛ, 1956. 2. Смирнова И.М. В мире многогранников. – М.: Просвещение, 1995, 136с.

РЕНДЕРИНГ МОДЕЛИ СОЗДАНОЙ В КОМПАС-3D

Крапивин А. С., Гайдарь О.Г. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** Рассмотрены основные понятия рендеринга 3D-моделей. назначение и сфера применения. Подробно показаны методы и этапы рендеринга на примере конкретной модели.*

***Ключевые слова:** моделирование, текстурирование, анимация, рендеринг, композитинг, КОМПАС, Artisan Rendering.*

Рендеринг – это процесс в ходе которого получается фотореалистичное 2d изображение, сделанное по модели или по другим данным, например, описанию геометрических данных объектов, положению точки наблюдателя, описанию освещения и т.д., (от англ. rendering — «визуализация»). Все действия осуществляются с помощью специальных компьютерных программ.

Своё применение рендеринг нашел во многих областях: киноиндустрия; видеоигры; реклама; дизайн интерьеров; создание мебельных каталогов; ремонт и строительство домов; картографии; промышленность и военное производство и т.д.

Применение данной технологии позволило значительно сократить временные и трудовые ресурсы при создании дизайнерских проектов. Минимизировать риски получения плохого результата, так как программы позволяют заранее увидеть реалистичный вид будущего продукта. Благодаря этому выбираются лучшие решения дизайнера и варианты исполнения, а также получается значительная экономия средств, так как не требуется переделывать готовое изделие, вживую, ведь все переделки уже сделаны виртуально, без лишних затрат.

Чаще всего строится полигональная модель, поверхности в данной модели представляются двухмерными примитивами – треугольниками, четырехугольниками и т.д. Эти примитивы называются полигоны. Чем меньше по размерам эти полигоны, тем их больше и тем модель получается более реалистичная. Но в тоже время, чем больше полигонов, тем больше и расчетов необходимо совершить процессору и соответственно больше требуется времени на это. Поэтому детализация модели это очень важный момент, чем больше детализация, тем больше полигонов, тем ниже производительность.

Существуют различные методы построения таких моделей, для сложных моделей, например, животных, людей и т.д. используются методы лепки, точно также, как из пластилина, потянув за край модели она вытягивается, появляются новые полигоны и т.д.

В технике используют поверхностное моделирование и твердотельное моделирование в различных CAD/CAM-системах.

Такая модель несет только лишь математическую модель, которая оговаривает ее геометрию и ничего больше. Для придания цвета на эти полигоны накладывается текстура. Текстура представляет собой обычный рисунок или фотографию, которые и накладываются на модель.

После наложения текстуры модель становится уже лучше выглядеть, но далеко не фотореалистично, так как реальные поверхности обладают рядом свойств, таких как прозрачность, отражательная способность и т.д. Поэтому модели необходимо назначить материалы и указать их свойства, например, полированный металл и т.д. Материал также представляет собой математическую модель, имеющей различные свойства, через которые можно менять, например, прозрачность воды.

Но на этом еще не всё, для ощущения реальности необходимо разместить сцену, расположить модель нужным образом, настроить освещение и камеру. И осуществить рендеринг, расчет данной картинке с учетом заданных всех настроек материала, освещения и т.д.

Таким образом за рендерингом скрываются определенные математические формулы векторной математики, геометрии и т.д. и огромный расчет.

Создание фотореалистичного изображения модели состоит из 6 этапов и рендеринг — это 5 этап [1].

- Моделирование или создание объемных объектов.
- Текстурирование – это создание текстуры и материалов поверхностей моделей.
- Оснастка – по-другому риггинг. • Анимация – оживление созданного объекта.
- Рендеринг – непосредственная визуализация объекта и запись.
- Композитинг – объединения всех созданных объектов в одну сцену.

Основной этап визуализации – ретуширование. Его используют для получения изображения высокого качества. Он использует ряд методов для визуализации поверхности при различном освещении: отражение света; поглощение света; рассеивание света; смешивание различных источников освещения.

Для визуализации моделей создано более 500 различных программ. Часть из них включены в большие пакеты 3d моделирования, а остальные являются самостоятельными программами выполняющие различные задачи.

Сегодня модули рендеринга и визуализации входят в состав современных инженерных CAD/CAM-систем, применяемых для автоматизированного проектирования изделий и технологической подготовки производства к их изготовлению. Таким образом, в данных пакетах можно спроектировать изделие, сделать рендеринг, спроектировать управляющие программы для станков с ЧПУ и начать их изготовление на станке и всё это в рамках одной программы. Пример такого модуля CAD/CAM-системы можно считать КОМПАС-3D со встроенной библиотекой Artisan Rendering.

Передо мной была поставлена задача создания фотореалистичного изображения и его анимации по модели, созданной в КОМПАС-3D. Для этой работы я использовал КОМПАС 3D со встроенной библиотекой Artisan Rendering и программой KeyShot 10 Pro. Сравнивая возможности двух программ, я решил закончить свой проект в KeyShot 10 Pro.

На мой взгляд, программа Artisan Rendering имеет следующие недостатки:

1. Малое количество предустановленных материалов, фонов для создания 3D изображения.

2. Низкое качество инструментов.

3. Нет возможности создания анимации изображения непосредственно.

Анимацию можно сделать в КОМПАСе, но без ранее примененных фонов и материалов к модели в Artisan Rendering.

Из преимуществ данного инструмента КОМПАСа можно выделить простоту его интерфейса. Он сможет помочь студентам в создании фотореалистичных изображений. Ещё одно преимущество в том, что он уже находится в библиотеках КОМПАС, не занимает много места на жестком диске и не является ресурсоёмким.

KeyShot 10, которым я пользовался для создания фотореалистики и анимации, также имеет простой интерфейс, что позволяет легко ориентироваться в нём. Научиться пользоваться этой программой не занимает много времени. В этой программе более высокое качество материалов и большее их количество.

Подробнее о работе с программой можно узнать на официальном сайте Luxion KeyShot или YouTube – канале [2, 3]:

Прежде, чем открыть файл сборки, созданной в КОМПАСе - в KeyShot я изменил формат файла на STP.

После импорта модели применил к ней материалы, которые можно выбрать в библиотеке, расположенной в левой части экрана.

При этом материалы можно применить к каждой детали модели с помощью дерева компонентов модели.

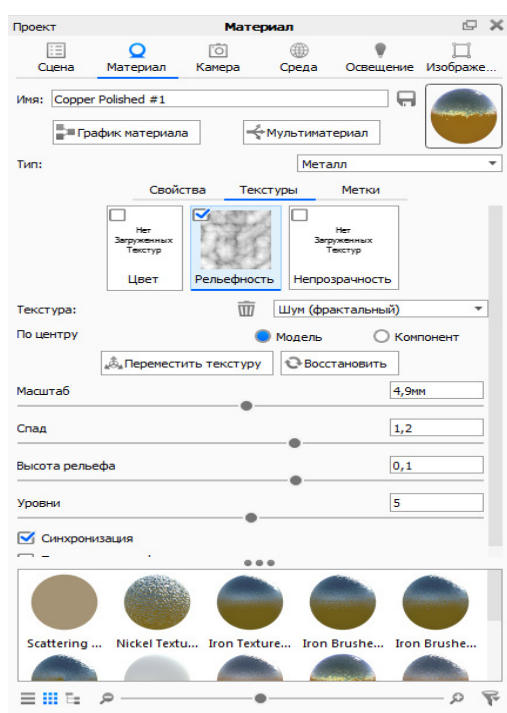


Рис. 1

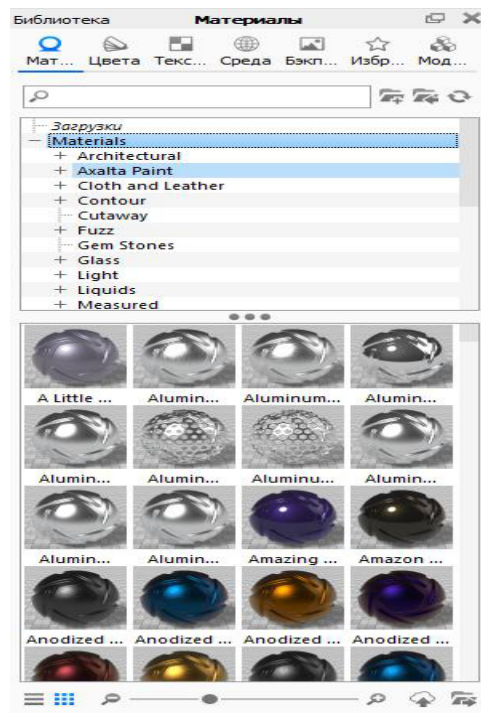


Рис. 2

В правой части экрана, в окне «Проект», можно изменять текстуру материалов, рельефность, цвет и другие параметры. Для создания окружения, в окне «Библиотеки», необходимо выбрать вкладку «Среда».

Для создания среды в своем проекте я выбрал «Sun & Sky». Этот фон также можно редактировать: выбрать расположение (страна, город), дату и время, можно задать расположение солнца. Для того чтобы изменить текстуру земли на которой расположена модель нужно: на панели в верхней части экрана нажать на вкладку «Изменить», далее выбрать «Добавить геометрию», «Плоскость». Я выбрал в качестве текстуры плоскости (земли) текстуру песка.

Если для создания модели или окружающей среды в предустановленных библиотеках нет нужного материала или среды, можно загрузить их из облачной библиотеки. Её можно найти: Окно - Облачная библиотека.

Для завершения создания изображения служит кнопка «Визуализация» на панели инструментов в нижней части экрана. В открывшемся окне я выбрал: «Неподвижное изображение», папку (место) сохранения, качество изображения и эффекты (слои и проходы).

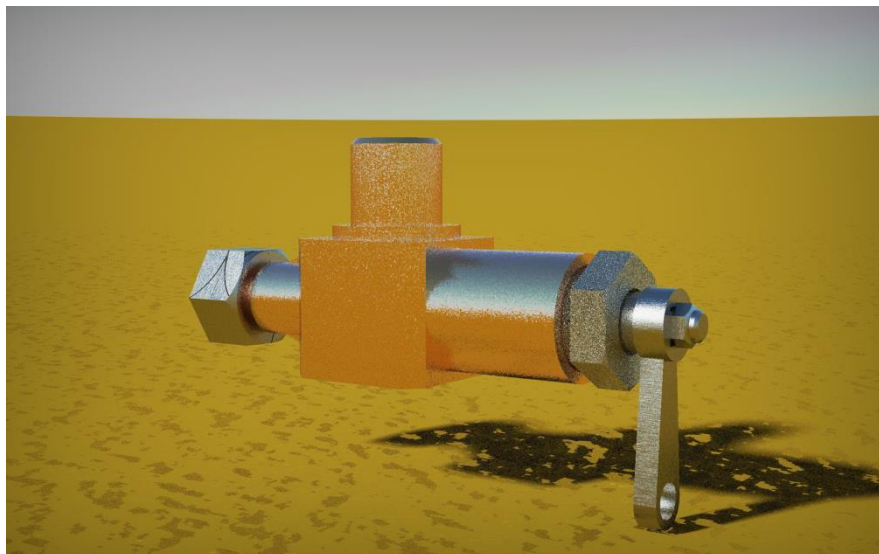


Рис.3.

Для выполнения анимации на панели инструментов нужно нажать кнопку «анимация».

В появившемся окне монтажной линейки нажать на «мастер анимации», в разделе анимации модели и компонента, выбрать тип анимации модели и камеры, после выбрать нужную деталь (компонент) и задать параметры анимации.

Чтобы ускорить навигацию в сцене и повысить производительность, можно активировать «Режим производительности».

Я выбирал анимации поворота и переноса. Анимацию поворота я применял исключительно для гаек, анимацию переноса - ко всему остальному. В программе можно совмещать несколько типов анимации, что я и применял к гайкам.

Из анимаций камеры я использовал следующие: «масштаб», «наезд» и «орбита». Для анимации камеры задаю время, фокусное расстояние и угол поворота.

Для завершения анимации также как и с фотореалистичным изображением используют кнопку «Визуализация», теперь в открывшемся окне выбрать «Анимация».

Из-за высокого качества изображения визуализация видео может занять много времени и места на жестком диске, для этого можно изменить формат видео и его разрешение, уменьшить количество кадров и их качество. Также эта программа позволяет выбрать режим загрузки ЦП. Это можно выбрать в том же окне визуализация, анимация, параметры.

Рендеринг превратился в крупную и постоянно развивающуюся индустрию. Это уже давно не просто красивое изображение, а серьезный и крупномасштабный инструмент, используемый во многих отраслях. Его развитие позволило сократить затраты труда и энергоресурсов, представить будущий объект еще на первоначальном этапе проектирования.

Список литературы:

1. Рендеринг 3d-моделей <https://vys-tech.ru/2017/08/15/rendering-3d-modelej>.
2. <https://www.keyshot.com/resources/learning/tutorials/>.
3. <https://www.youtube.com/channel/UCSJQ7mR0UNjAArOGHlharPQ>

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИХВАТА В ОБЛАЧНОЙ САПР

Луцик М. М., Бляшко Д. С., Буленков Е. А.
(кафедра ТМ, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»,
г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрены особенности использования облачной САПР для оптимизации конструкции прихвата зажимного приспособления. Показана последовательно работы в облачной САПР при решении поставленной задачи.

Ключевые слова: облачная САПР, Индустрия 4.0, САПР, 3DExperience® Solidworks.

Среди облачных систем для конструкторско-технологической подготовки производства изделий угольного машиностроения особое место занимают продукты 3DExperience® Solidworks [1], которые предоставляют возможность совместной работы конструктора и технология, содержат полный набор инструментов для 3D проектирования с возможностями управления данными, а также моделирования различных состояний объектов. Прозрачная интеграция помогает внедрять инновации и оптимизировать каждый аспект процесса разработки изделия угольного машиностроения, а также оперативно вводить изменения в конструкцию направленные на оптимизацию работы изделия и улучшение технологии его производства [2]. Данные решения позволяют безопасно обмениваться данными и выполнять совместную работу на любом устройстве с доступом к Интернет.

Задачей данной работы является моделирование напряженно-деформированного состояния элементов зажимного приспособления при механической обработке вала-шестерни на радиально-сверлильной операции с использованием облачной САПР. При этом необходимо разработать конструкцию зажимного приспособления, выполнить статический анализ методом конечных элементов наиболее нагруженных элементов приспособления и в случае необходимости предложить требуемые изменения в конструкцию.

Для исследования выбран процесс обработки детали на радиально-сверлильной операции. При обработке деталь закрепляется в специальное зажимное приспособление.

При конструировании зажимного приспособления с использованием облачной САПР применяется метод построения, основанный на конструировании отдельных деталей сборки в общем виде и дальнейшей их сборке в трехмерную твердотельную модель. Отверстия и пазы под присоединительные размеры моделировались в контексте сборки по месту расположения сопрягаемых деталей. Сложные элементы, образующие сборочные узлы, собирались в отдельные под сборки,

В целом, процесс создания 3Д модели приспособления с использованием облачной САПР можно представить следующими шагами:

1. Создание моделей деталей.
2. Добавление в общую сборку модели обрабатываемой детали и присоединения к ней установочных элементов приспособления (призм и опоры) и прихвата.
3. Присоединение корпуса к установочным деталям.
4. Создание подборок гидроцилиндра с толкателем и стойки с шайбами.
5. Присоединение подборок к корпусу.
6. Присоединение кондуктора и кондукторных втулок к корпусу.
7. Присоединение прихвата.

8. Установка крепежных элементов с помощью библиотеки стандартных элементов Toolbox.

По мере необходимости в корпусе и других элементах сборки добавляются отверстия в контексте сборки.

В ходе дальнейшей работы здесь же, в облачной среде 3DExperience® Solidworks, были выполнены расчеты на прочность наиболее нагруженного элемента, - прихвата, и проведена оптимизация его конструкции.

При анализе использован стандартный прихват 7011-0539 ГОСТ 4735-69. При назначении усилий за основу была принята расчетная схема с известными фактическими усилиями на приводе и усилиями закрепления. При этом за счет того, что прихват не имеет жестких креплений, на места его опор были приняты крепления ролик/ползун и зафиксированный шарнир.

Результаты статического анализа показывают, что при стандартной конструкции прихвата условие прочности не выполняется: максимальная деформация составляет 609 Мпа, при пределе текучести 460 Мпа, а коэффициент запаса в опасном сечении составляет 0.7 при допустимом 1.3. Для оптимизации конструкции прихвата с целью выполнения условия прочности выполнен расчет вариантов конструкции прихвата при варьировании двумя размерами поперечного сечения прихвата. При этом за основу был взят исходный статический анализ с размерами поперечного сечения прихвата 32x63 мм соответствующий стандартному прихвату.

Для исследования был выбран тип анализа «исследование проектирования».

При решении оптимизационной задачи было выбрано варьирование размерами: высоты – от 32 до 56 мм с шагом 6 мм, и ширины от 63 до 81 мм с шагом 6 мм. При этом возможны 20 активных сценариев.

Результаты оптимизационного исследования (рис. 1) выявили 20 сценариев оптимизации, которые позволили определить размеры сечения (50x81 мм) при которых коэффициент запаса более 1.5. Остальные 19 вариантов не обеспечивают выполнение поставленных условий.

	Текущая	Начальная	Оптимальная (8)	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5	Сценарий 6	Сценарий 7	Сценарий 8	Сценарий 9	Сценарий 10	Сценарий 11	Сценарий 12	Сценарий 13	Сценарий 14	Сценарий 15	Сценарий 16	Сценарий 17	Сценарий 18	Сценарий 19	Сценарий 20	
Высота прихвата	56мм	56мм	44мм	32мм	38мм	44мм	50мм	56мм	32мм	38мм	44мм	50мм	56мм	32мм	38мм	44мм	50мм	56мм	32мм	38мм	44мм	50мм	56мм	
Ширина прихвата	81мм	81мм	69мм	63мм	63мм	63мм	63мм	63мм	69мм	69мм	69мм	69мм	69мм	75мм	75мм	75мм	75мм	75мм	81мм	81мм	81мм	81мм	81мм	
Минимальный запас прочности1	> 1.500000	2.610748	2.610748	1.519239	0.736461	1.018425	1.34671	1.65576	1.946670	0.850154	1.20313	1.519239	1.8354	2.0685	0.99607	1.3400	1.7079	2.03365	2.4156	1.06071	1.48034	1.649341	2.1385	2.6107
Масса1	Минимизировать	8.568255	8.568255	5.579839	3.597681	4.312841	5.02800	5.74316	6.458321	3.998045	4.78894	5.579839	6.3707	7.1616	4.39840	5.2650	6.1316	6.99831	7.8649	4.79877	5.74114	6.683514	7.6258	8.5682

Рис. 1. Результаты оптимизации конструкции прихвата.

Таким образом, для дальнейшего совершенствования конструкции данной детали требуется применение более прочного материала или использования иного, более сложного поперечного сечения рычага, в лучшей степени воспринимающего изгибные нагрузки. Выполненная работа показала, что использование облачной САПР позволяет выполнять проектирование и расчеты в единой среде, что существенно повышает эффективность труда конструктора.

Список литературы: 1. Netty Zaharia, SimScale Top Trends in Industrial Design: From Green Engineering to the Cloud and Beyond // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <https://www.machinedesign.com/cad/top-trends-industrial-design-green-engineering-cloud-and-beyond>. – (17.09.2020). **2.** Олейник, И. М., Буленков, Е. А. Уменьшение ресурсоемкости конструкторской подготовки производства // Студ. науч.-техн. журнал «Инженер». – Донецк: ДонНТУ, 2015. – №1(19)-2(20). – С.105-110.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ ДЕТАЛЕЙ

Скляр Д.Р., Скорикова А.О., Корецкая И. Н.
(кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Рассматриваются правила нанесения размеров на чертежах деталей.

Ключевые слова: диаметр, радиус, конусность, подсчет размеров.

Одной из составных частей чертежа детали являются размеры. Грамотное нанесение их позволяет уменьшить процент брака на производстве, упростить изготовление детали, повысить точность ее отдельных размеров и снизить стоимость детали.

Правила и положения, связанные с размерами на чертежах, носят разносторонний характер, например, изображение размерных связей, применение условных знаков и символов, рациональное формирование размерной сетки, назначение номинальных размеров и др.

Наиболее полное решение вопроса связано со знанием большого круга сведений геометрического, расчетно-конструктивного, технологического характера, различных стандартов, умением свободно читать и выполнять машиностроительные чертежи.

Практический интерес при нанесении размеров на чертежах деталей имеет подсчет количества размеров, необходимых для изготовления детали.

Количество размеров - величина постоянная для каждой детали и не зависит от способа их нанесения.

Известная методика заключается в том, что деталь мысленно разбивают на элементарные геометрические формы и подсчитывают необходимое для них количество размеров. Затем устанавливают размеры, определяющие взаимное расположение этих форм. Общее количество размеров равно сумме ранее полученных.

Подсчет количества размеров можно упростить, сведя его к формальному подсчету количества линий на чертеже.

Все размеры на чертеже детали условно разделим на две группы: размеры, определяющие элементарные формы поверхностей детали (назовем их параметры формы), и размеры, определяющие положение в пространстве этих форм (параметры положения). Необходимо учесть, что точка, линия и плоскость параметров формы не имеют.

В учебном процессе по инженерной графике, как правило, встречаются цилиндрические, конические и торовые поверхности. Для цилиндрической поверхности вращения параметром формы будет диаметр (радиус), коническая поверхность вращения имеет два параметра формы - диаметр сечения и конусность или диаметр сечения и угол между образующими (между образующей и осью). Торовая поверхность может быть задана диаметром (радиусом) радиального сечения и диаметром (радиусом) траектории центра образующей окружности.

На деталях эти поверхности часто выступают в сочетаниях, поэтому количество параметров формы может уменьшаться за счет совпадения их элементов. Например, соосные коническая и цилиндрическая поверхности имеют общий диаметр оснований, в этом случае коническая поверхность определяется одним параметром - конусностью (углом между образующими). Рассмотрим еще один пример. Если торовая поверхность касается плоскости и конической поверхности, то в этом случае для задания ее формы достаточно поставить один размер - радиус радиального сечения тора.

Количество размеров, определяющих взаимное расположение элементарных форм детали в каждом координатном направлении (параметры положения).

$$n = m - 1 - t,$$

где m - количество параллельных плоскостей, осевых и центровых линий (включая оси симметрии) и точек, подлежащих координации в заданном направлении (в их число не следует включать точки, получаемые построением на основании достаточных на чертеже условий, например, центры сопряжений); t - количество не повторяющихся пар симметричных элементов.

Общее количество размеров:

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + P,$$

где n_1, n_2, n_3 - количество параметров положения в каждом из трех координатных направлений; P - общее количество параметров формы.

Если на детали окажется не одна координатная система, методика подсчета не меняется. Необходимо ввести параметр, определяющий новую координатную систему относительно основной, по приведенной формуле подсчитать размеры в новой системе и прибавить их к ранее полученным.

Для детали, изображенной на рис. 1, подсчет размеров осуществляется в следующем порядке. Количество размеров, определяющих положение плоскостей и центров отверстий в горизонтальном направлении (размеры обозначены буквой Б): $m_1 = 9$; $t_1 = 0$ (в этом направлении симметрия отсутствует), следовательно, $n_1 = 9 - 1 = 8$; в вертикальном направлении (размеры обозначены буквой А): $m_2 = 10$; $t_2 = 4$. В число включена одна пара отверстий D_1 , симметричных относительно горизонтальной оси, пара отверстий D_3 и две пары параллельных плоскостей, определяемых размерами A_1 и A_6 . Следовательно, $n_2 = 10 - 1 - 4 = 5$. Толщина детали S дает $n_3 = 2 - 1 = 1$ - один размер. Количество размеров, определяющих форму отверстий, $P = 3$, т.е. D_1, D_2, D_3 .

Общее количество размеров $N = n_1 + n_2 + n_3 + P = 8 + 5 + 1 + 3 = 17$.

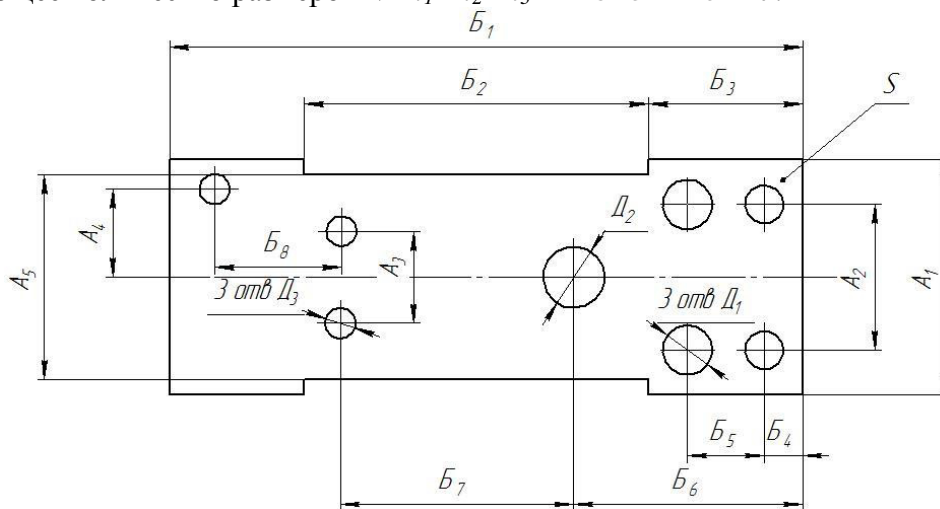


Рис. 1. Нанесение размеров для детали типа «Планка».

Список литературы: 1. ГОСТ 2.307-68 Нанесение размеров. 2. Единая система конструкторской документации: Правила выполнения чертежей различных изделий. - М: Из-во стандартов, 2004.-с. 3. Чекмарев А.А. Инженерная графика. Машиностроительное черчение: Уч./ А.А.Чекмарев – М.: НИЦ ИНФРА – М, 2021 – 396 с. (СПО).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САПР

Тяпков Н. Р., Бляшко Д. С., Буленков Е. А. (кафедра ТМ, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрены особенности использования облачной САПР для проектирования станочного зажимного приспособления. Показана последовательность работы в облачной САПР при решении задачи прочностного расчета корпуса приспособления.

Ключевые слова: облачная САПР, Индустрия 4.0, САПР, 3DEXperience® Solidworks.

Для конструкторско-технологической подготовки производства изделий угольного машиностроения сегодня активно используются облачные приложения, и в частности 3DEXperience® Solidworks [1]. Данные программы дают возможность совместной работы конструктора и технология, содержат полный набор инструментов для 3D проектирования с возможностями управления данными, а также моделирования различных состояний объектов. Горизонтальная интеграция помогает оптимизировать каждый аспект процесса разработки изделия угольного машиностроения, а также оптимизировать работу изделия и улучшать технологию его производства.

Задачей данной работы является проектирование станочного зажимного приспособления при механической обработке вала-шестерни на радиально-сверлильной операции с использованием облачной САПР 3DEXperience® Solidworks. При этом необходимо разработать конструкцию зажимного приспособления, выполнить статический анализ методом конечных элементов наиболее нагруженных элементов приспособления и, в случае необходимости, предложить требуемые изменения в конструкцию.

Для исследования выбран процесс обработки детали на радиально-сверлильной операции. При обработке деталь закрепляется в специальное зажимное приспособление, конструкция которого показана на рис. 1.

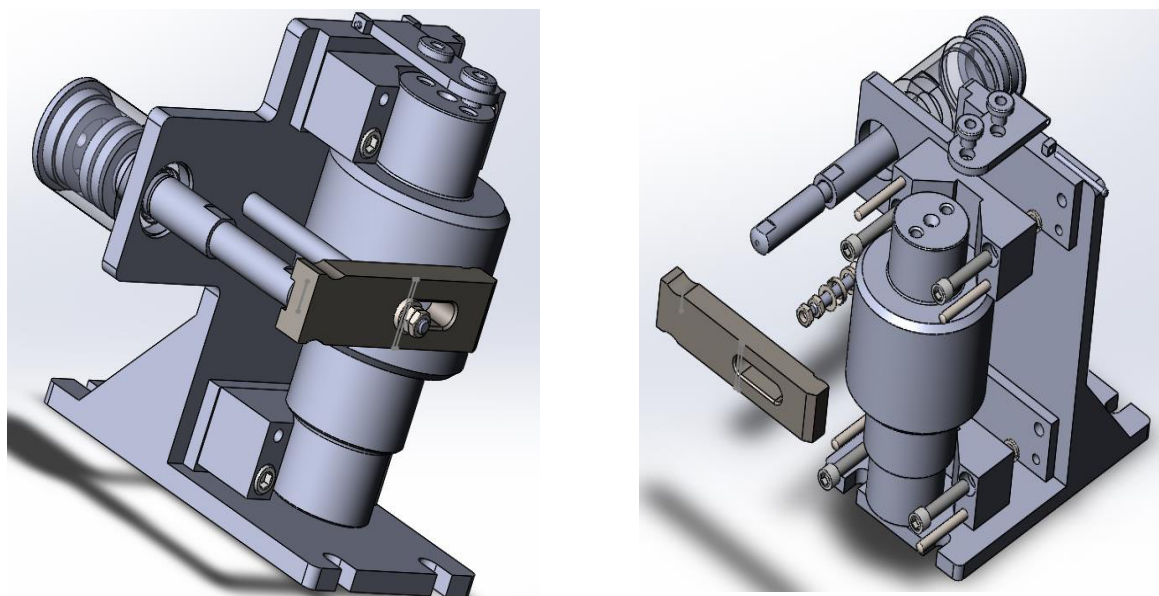


Рис. 1. Общий вид сборочной модели приспособления

Исходя из конструкции приспособления, наиболее тяжело нагруженными его элементами являются прихват и стойка, испытывающие деформации изгиба и растяжения соответственно. В то же время, корпус приспособления при значительных габаритах испытывает высокие нагрузки со стороны привода, стойки и опорных призм. В ходе проектирования, для корпуса приспособления выполнен анализ напряженно-деформированного состояния, который показал значительное превышение допускаемых напряжений в узлах ребер жесткости (рис.2).

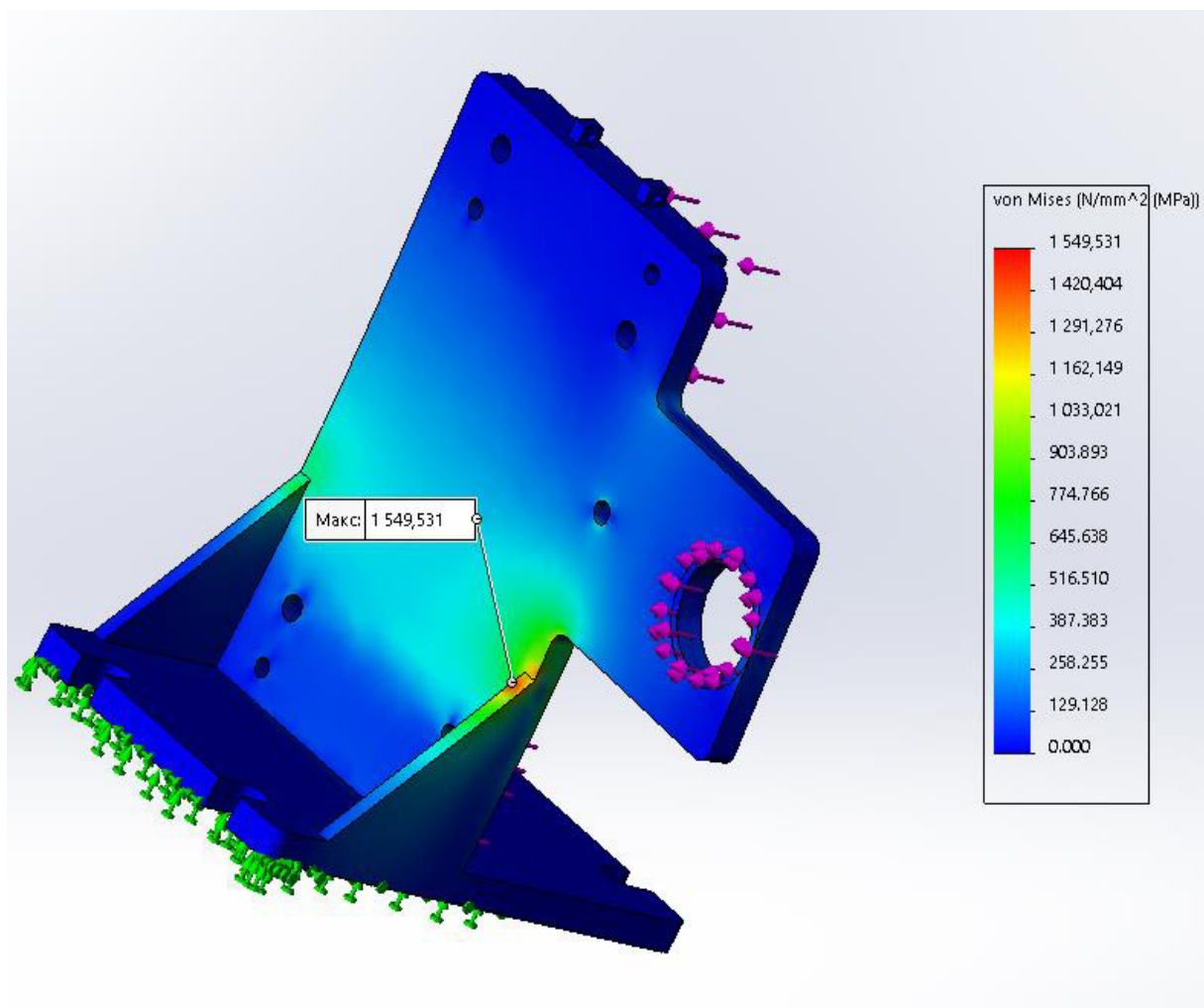


Рис.2. Эпюра напряжений корпуса приспособления.

При задании нагрузок и креплений использовались крепления: зафиксированная геометрия на плоскости основания, в месте опоры стойки и на контактных площадках призм, а усилие, равное усилию закрепления, приложено на место контакта корпуса гидроцилиндра. Кроме того на опорную площадку под опору была приложена сила равная весу заготовки.

В результате оптимизации конструкции, которая заключалась в изменении толщины стенок ребер жесткости и увеличении радиусов скруглений на них, было достигнуто снижение максимальных напряжений до значения 429,45 МПа, которые могут быть обеспечены при изготовлении корпуса из высокопрочного чугуна марки ВЧ80. Эпюра напряжений оптимизированной конструкции корпуса представлена на рис. 3.

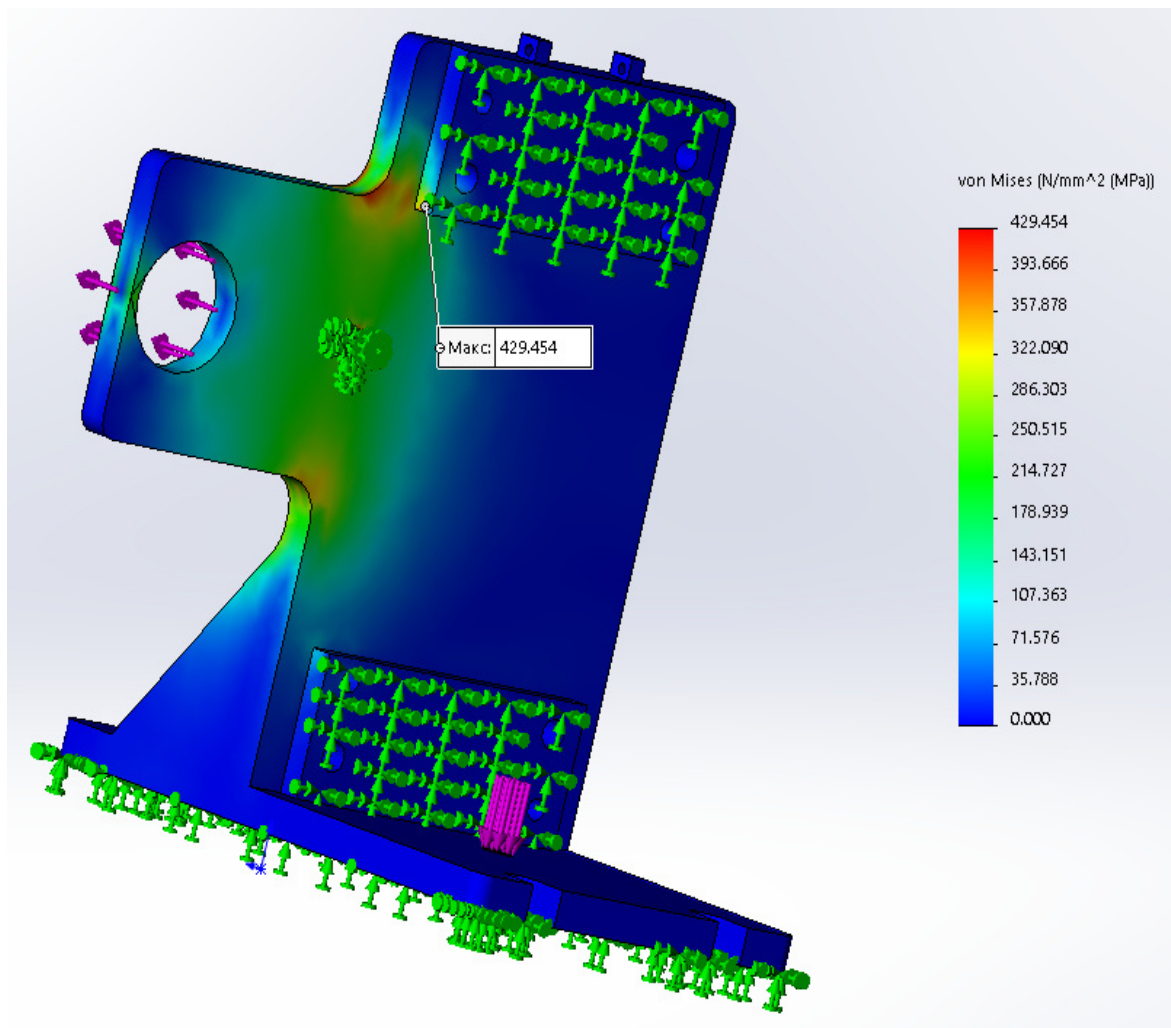


Рис. 3. Эпюра напряжений корпуса после оптимизации.

Таким образом, анализ методом конечных элементов позволил выполнить проверку прочности деталей приспособления, в результате которого были обнаружены значительные концентрации напряжений, превышающие допусковые. За счет оптимизации конструктивных элементов деталей были внесены изменения в изначальную конструкцию, позволившие достичь выполнения условий прочности, и после повторного статического анализа подтвердить работоспособность элементов приспособления. Все изменения в конструкцию были внесены с учетом технологичности изготовления данных деталей. Использование облачной САПР дало возможность осуществлять расчеты на прочность непосредственно в процессе проектирования приспособления и использовать вычислительные мощности облачных серверов для проведения расчетов.

Список литературы: 1. Xi Vincent Wang, Mohammad Givehchi, Lihui Wang (2017) Manufacturing system on the cloud: a case study on cloud-based process planning // Procedia CIRP vol. 63 P.: 39 – 45. 2. J. Xie et al. (2019) Integrated Cloud CAE Simulation System for Industrial Service Applications // IEEE Access. Vol. 7. P.: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895956.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

МЕТОДЫ И ПРИМЕНИМОСТЬ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
МАШИНОСТРОЕНИИ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Лахин А.М., Киселица Д.О., Жарких Д.С.
(кафедра «Технология машиностроения», ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк)

Аннотация: Рассмотрены особенности известных типов 3D-печати в машиностроении. Приведено сравнение основных разновидностей аддитивных технологий, дан их анализ и сравнение с классическими технологиями механической обработки заготовок резанием. Выделены параметры процесса цифрового производства

Ключевые слова: технология, модель, печать, принтер, производительность, производство.

Под аддитивными технологиями понимают процесс получения трёхмерных объектов заданной геометрической формы и качества поверхности на основе цифровой 3D-модели, путём поэтапного формирования поверхностей изделия за счёт добавления слоя материала на созданную основу или заготовку. Таким образом, идея аддитивного изготовления (или 3D-печати) объекта основана на концепции построения изделия последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры объекта, с использованием цифровой модели создаваемого изделия. При этом, каждый из наносимых слоёв материала увеличивает объем и вес изготавливаемой заготовки. Такая идея постепенного наращивания объёма изготавливаемого объекта сама по себе является антагонистической классическим технологиям обработки изделия на основе теории резания, в которых заложена концепция последовательного удаления припуска материала, но близка по характеру к 3D-технологиям наращивания кристаллов, используемых, например, при изготовлении приборов и аппаратов [1].

Ежегодно мировой рынок аддитивных технологий демонстрирует рост в пределах 27—28%. Лидером внедрения аддитивных технологий является США — доля АФ-оборудования достигает 38%. В пятёрке передовиков также значатся Япония, Германия, Китай и Великобритания. В России также функционируют компании, занимающиеся прототипированием. Большинство из них — небольшие, без дорогостоящего оборудования, но есть и известные: ФГУП «НАМИ», НПО «Салют», АБ «Универсал», НИИ «Машиностроительные Технологии».

В настоящее время, 3D-печатные технологии используются в архитектуре, строительстве, промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, медицинской отраслях, биоинженерии, лёгкой и пищевой промышленности. Перспективными идеи использования аддитивных технологий являются и в машиностроении, что в будущем позволит значительно уменьшить производственные площади, парк классического и массивного технологического оборудования, объёмы потребляемой электрической энергии и численность работающего персонала в производстве. Так, NASA тестирует созданный посредством аддитивных технологий ракетный двигатель с инжектором, Google и 3D Systems работают над полноцветным автоматизированным 3D-принтером, который сможет изготавливать тысячи модулей для смартфонов. Компании Airbus, Boeing, General Electric, Liebherr Avionika, Michelin, используют аддитивные технологии, в том числе 3D-печать металлами. Впечатляющим примером являются разработки компании General Electric, в частности, создаваемый компанией «продвинутый турбовинтовой двигатель». Около 30% новой силовой установки будут изготовлены с помощью 3D-

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

печати. Это позволит упростить конструкцию, повысить экономичность до 20% (при приросте мощности на 10%). Как подчёркивается в докладе ВИАМ, разработчикам удалось заменить 855 стандартных деталей двенадцатью 3D-печатными модулями [2,3].

Рассмотрим особенности известных типов аддитивных технологий, пригодных для машиностроения.

Селективное (выборочное) лазерное плавление SLM (Selective Laser Melting). Технология производства изделий заключается в последовательном послойном расплавлении порошкового материала (металлического) посредством мощного лазерного излучения. Особенностью такой технологии является то, что металлический порошок под лучом лазера не спекается, а полностью расплавляется и превращается в однородном сырье рис.1,2.

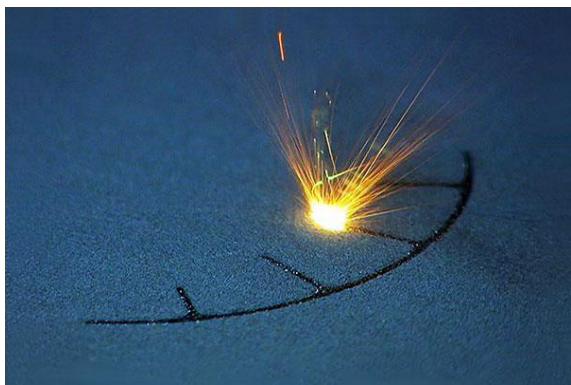


Рис.1. Селективное (выборочное) лазерное плавление SLM



Рис.2. Деталь, полученная SLM

Лазерная стереолитография SLA (Laser Stereolithography). Заключается в получении изделий путём лазерного облучения фотополимерной смолы. Источником облучения служит ультрафиолетовый лазер. Его узкий луч направляется на фотополимер и как бы «сканирует» слой изделия согласно цифровой модели. В точках фокусировки луча смола полимеризуется и затвердевает. После построения одного слоя рабочий стол перемещается на высоту, равную толщине этого слоя. Затем на уже твердеющем слое лазерным лучом формируется следующий слой. Процесс повторяется до готовности изделия. Лазерная стереолитография может использоваться при создании технологической оснастки, приспособлений или прототипов, а также при производстве промышленной керамики, стоматологических и прочих протезов, ювелирных изделий и литье по выжигаемым моделям, рис.3,4.

Недостатком метода является небольшая скорость сканирование лазером слоя фотополимера. В этом он существенно уступает методам DLP и LCD. Но при этом SLA обеспечивает очень высокое качество поверхности изделия.

Селективное лазерное спекание SLS (Selective Laser Sintering). Принцип действия SLS заключается в точечном спекании пластиковых порошков с разными компонентами лазерным лучом. Также существуют машины, которые спекают порошковый металл. Метод позволяет создавать высокоточные (толщина слоя — до 20 мкм) и прочные изделия. Кроме того, изделия могут иметь сложную форму, различные полости и тонкие перегородки. Такие формы сложно либо невозможно изготовить традиционными способами металлообработки, поэтому метод SLS широко используется в машиностроении, авиастроении, космонавтике для изготовления сложных единичных и мелкосерийных деталей машин, летательных аппаратов и

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

силовых установок. С помощью SLS создают также медицинские импланты и различные предметы искусства, рис.5,6.



Рис.3. Принтер SLA

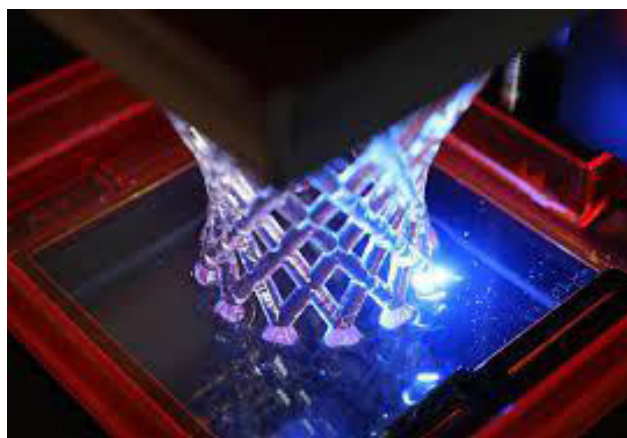


Рис.4. Фрагмент работы принтера SLA

В случае работы только с металлическими порошками, метод именуется **DMLS** (*Direct Metal Laser Sintering*) — прямое лазерное спекание металла. В качестве исходного материала используются порошки углеродистой, нержавеющей или инструментальной стали, алюминия, титана, золота, металлических сплавов. Печать выполняется в рабочей камере принтера, которая заполнена инертным газом для предотвращения окисления порошка. Отходы дорогого рабочего материала практически отсутствуют. Готовые изделия имеют пористую структуру и часто нуждаются в дальнейшей термической обработке для достижения требуемой прочности.

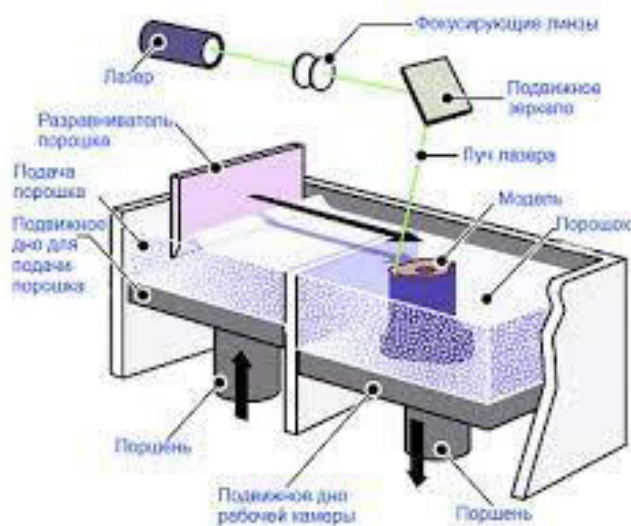


Рис.5. Принцип работы принтера SLS



Рис.6. Вид деталей

Послойное наплавление FDM. Печать методом послойного наложения представляет собой процесс аддитивного производства, который реализуется благодаря экструзии материалов. Метод был разработан в Массачусетском технологическом институте (*Massachusetts Institute of Technology, MIT*) в 1993 г. Его предложили студенты MIT Тим Андерсон (*Tim Anderson*) и Джим Бредт (*Jim Bredt*). В FDM, объект

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

строится путём нанесения расплавленного материала по заранее установленному алгоритму, слой за слоем. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры и имеют форму нити. 3D печать FDM реализован непрерывной подачей нити материала в экструдер (печатающую головку), рис.7, оснащённый нагревательным элементом для плавления нити полимера. В процессе печати происходит плавление пластика и экструзия (выдавливание) его на платформу 3D – принтера, рис.8. Каждый последующий слой выдавливается на предыдущий по заданной траектории и благодаря созданной цифровой 3D – модели изделия. Для повышения производительности принтера, быстрого затвердевания слоёв, экструдеры оснащаются внешними вентиляторами, создающими резкий перепад температур.

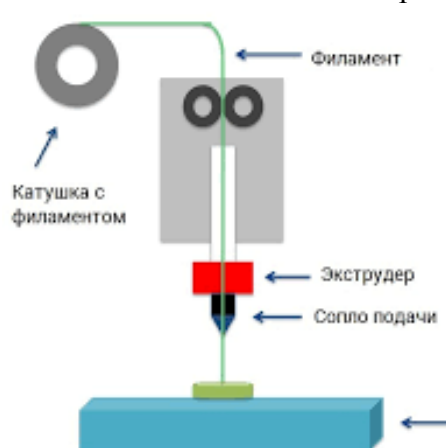


Рис.7. Схема работы принтера

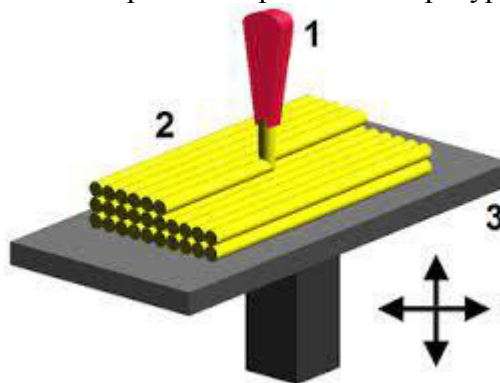


Рис.8. Схема движения экструдера

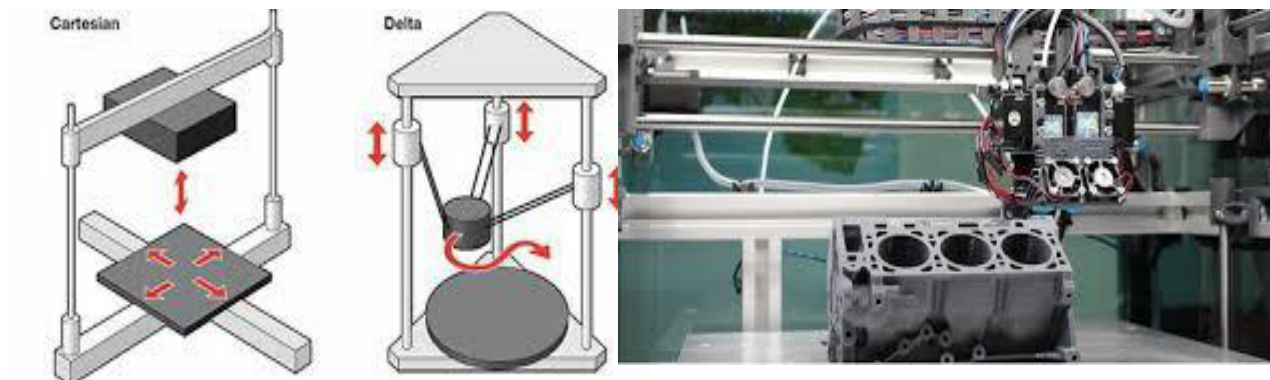


Рис.9. Схема конструкции принтера

Рис.10. Вид работы над изделием

Технология FDM является в настоящее время одной из наиболее востребованных и распространённых технологий 3D – печати, рис.9. Такой технологией производится изготовление прототипов и деталей в единичном и мелкосерийном типах производств в авто- и авиастроении, космической отрасли, в производстве рекламных материалов, игрушек, сувениров, рис.10.

Преимуществами технологии FDM являются:

- Доступность. Этот вид 3D-печати является в настоящее время, самым низко затратным, что объясняет высокую популярность использования FDM 3D принтеров;
- Большой выбор материалов с различными свойствами [4,5].

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Используемый материал заготовки (3D-пластик) является недорогим, что снижает себестоимость изготовления изделия;
- Наилучшее соотношение цена/качество. Современные принтеры для FDM 3D- печати имеют сравнительно высокую точность печати (до 40 мкм) при относительно невысокой стоимости.

Многоструйное моделирование MJP (или *многоструйная печать*) – одна из аддитивных технологий, которая основана на послойном построении объекта из воска или фотополимера. Таким методом изготавливают высокоточные объекты любой сложности, используемые в самых разных отраслях промышленности: функциональные модели для проверки изделия на собираемость; прототипы; модели для испытаний; концептуальные модели для утверждения дизайна; технологическая оснастка; выжигаемые и выплавляемые модели.

Одна из особенностей MJP, которая сближает ее с лазерной стереолитографией (SLA), – наличие так называемых поддержек (поддерживающих структур) для выступающих или нависающих элементов детали, предназначенной для 3D-печати. По завершении построения в 3D-принтере поддержки с лёгкостью удаляются.

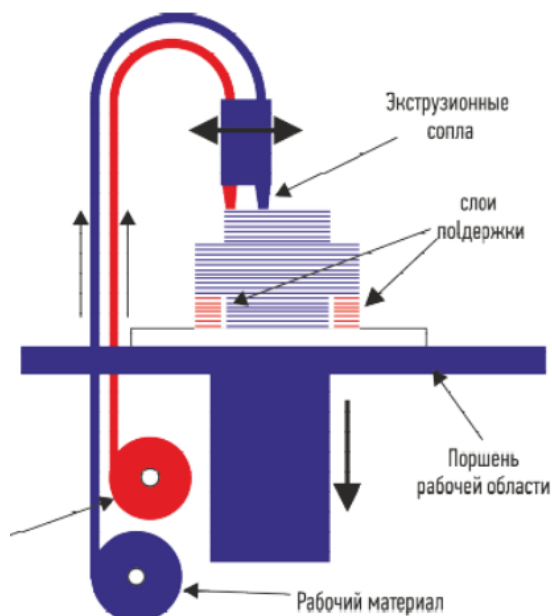


Рис.11. Принцип работы MJP печати

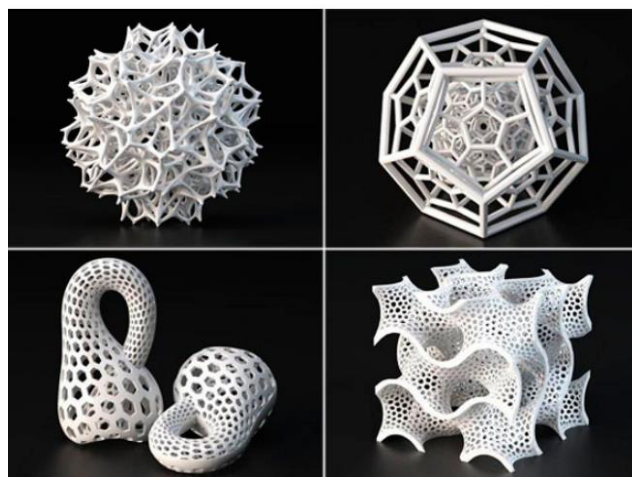


Рис.12. Изделия после MJP печати

Преимущества MJP технологии:

- Высокая точность построения поверхности изделий (толщина слоя – от 13 до 32 мкм);
- высокая скорость печати;
- широкий выбор и высокое качество модельных материалов.

При построении моделей из жидкого фотополимера MJP-технология по точности превосходит возможности 3D-печати пластиком FDM, а в отдельных случаях может соперничать с лазерной стереолитографией.

Недостатками MJP технологии являются:

- узкая область применения создаваемых изделий (преимущественно в функциональном прототипировании);
- уязвимость материала модели к действию прямых солнечных лучей;

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- относительно высокая стоимость расходных материалов.

Цветная струйная печать CJP (ColorJET printing). Разработанная технология, запатентованная компанией 3D Systems под названием *ColorJet Printing (CJP)* позволяет создавать реалистичные цветные изделия с высокой точностью и скоростью. Несмотря на дороговизну CJP-принтеров, сама 3D-печать имеет низкую себестоимость за счёт невысокой стоимости расходных материалов и их практически безотходного использования.

Метод широко применяется в промышленном и архитектурном дизайне для создания прототипов, единичных и мелкосерийных партий изделий сложной формы и разнообразной цветовой гаммы, при создании архитектурных и строительных макетов для демонстрации идеи заказчику; демонстрационных образцов в прототипировании, дизайне, макетировании в образовательных или медицинских целях; проверках на собираемость несложных сборочных изделий машиностроения, рис.13-14.

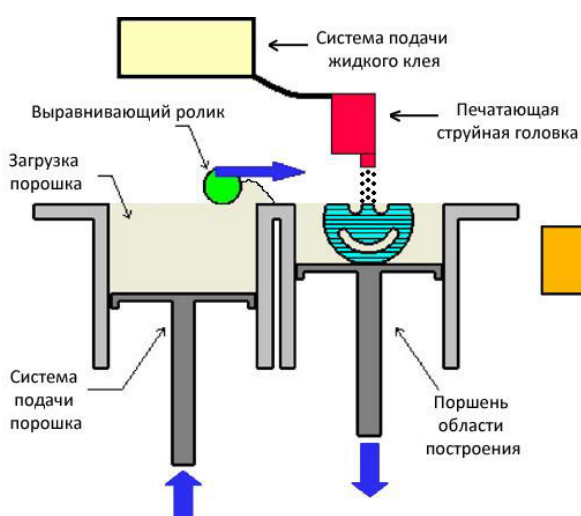


Рис.13. Принцип работы CJP печати



Рис.14. Изделие после CJP печати

Аддитивные технологии являются завершающим этапом создания цифрового производства и перевооружения промышленности. К современному цифровому производству можно отнести: цифровое проектирование и аддитивное производство, рис.15.



Рис.15. Этапы производственного процесса цифрового производства

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

При этом, к цифровому проектированию относится как конструкторская подготовка производства – создание 3D-модели изделия, так и технологическая подготовка производства. Технологическая подготовка производства включает в себя создание исполнительного STL-файла для 3D-принтера, определение оптимальных параметров и разбивку модели на слои печати, выбор исходного материала и технологических параметров и регламентов 3D-печати. Цифровое производство включает в себя изготовление детали путём использования аддитивных технологий, с последующей (при необходимости) обработкой на многоцелевых станках с ЧПУ и сборкой изделий с использованием роботизированных или автоматизированных комплексов.

Выводы. Работы по исследованиям аддитивных технологий являются актуальными, а технологическая подготовка 3D-печати (режимы, параметры исходных материалов и исполнительных механизмов, регламенты работ) – малоизученными. Хотя на сегодняшний день, аддитивные технологии и не могут полностью заменить классические технологии машиностроения, связанные с обработкой изделий резанием, но они являются целесообразными при прототипировании, изготовлении изделий в единичном, ремонтном и мелкосерийном типах производств, а также при изготовлении деталей сложной формы небольшого размера.

Использование аддитивных технологий, с учётом возможности сканирования прототипа изготавливаемого объекта и моделирования средствами САПР, позволяет значительно снизить продолжительность технической подготовки и производственного цикла изготовления изделия, создаёт предпосылки проектирования и изготовления бионических конструкций объектов с оптимальной топологией их изготовления.

Список литературы: 1. Белоконов, Г. В. Технология наращивания кристаллов из нагретых водных растворов для производства сувенирной продукции // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвящённой 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section10.html>. 2. Носков, О. Еще раз догнать Америку [Электронный ресурс] – М.: Академгородок – 2017. — Режим доступа: <https://academcity.org/content/eshche-raz-dognat-ameriku> 3 Сферы применений аддитивных технологий [Электронный ресурс] - М.: Изд. Эра 3D,- 2017. —Режим доступа:<https://era-3d.ru/baza-znaniy/poleznaya-informatsiya/sfery-primeneniya-additivnykh-tekhnologiy> 4. В. А. Витренко, Г. В. Сыровой, А. А. Афошин. Влияние скорости в 3-d печати на прочностные характеристики цилиндрических образцов по FDM технологии / В. А. Витренко, Г. В. Сыровой, А. А. Афошин / Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2020. - № 1(68). - С. 25-29. 5. Горобец, И.А. Голубов, Н.В. Пикалов, Д.А. Обзор исследований прочности изделий, полученных с использованием FDM – технологий / И.А.Горобец, Н.В. Голубов, Д.А.Пикалов / Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – С. 81-85. 6. Суть и преимущества аддитивных технологий и производства [Электронный ресурс] - М.: 2016. — Режим доступа: <https://top3dshop.ru/wiki/additive-technologies.html>

УДК 621.91.002(075.8)

БЛОК СХЕМА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАБОТКИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Кравченко В. С., Михайлов А.Н.

(кафедра ТМ, ДОННТУ, г. Донецк, Донецкая Народная Республика)

E-mail: luck.vsk@mail.ru , Тел.: +380713265153

Аннотация: Разработанная блок-схема структуры проведения исследований позволяет выполнить синтез технологического процесса с учетом особенностей конструкции ТЦД, а также устанавливает последовательность выполнения всех этапов исследования данной работы.

Ключевые слова: исследования, структура, разработка, маршрутно-операционный, отделочный, обработка рабочих поверхностей.

Данная работа имеет определенную структуру связанных между собой последовательных этапов. Каждый этап направлен на решение задач, которые в совокупности позволяют достичь основную цель работы – повышение качества ТЦД за счет совершенствования технологического обеспечения отделочной и упрочняющей обработки.

При этом в данной работе ограничимся только цилиндрическими деталями, не имеющими наружных ступеней, либо с односторонним буртиком малой длины (детали типа стакан) и имеющие центральное (сквозное или глухое) отверстие. Вторым критерием определяющим область исследований, является наличие стенок малой толщины, снижающей жесткость детали. Направление тонкой стенки может быть от оси (в радиальном направлении) или в торцовом направлении. Первые характерны для деталей типа втулка, вторые – для деталей типа тонкий диск.

Все многообразие тонкостенных деталей представим следующей схемой (рис.1).

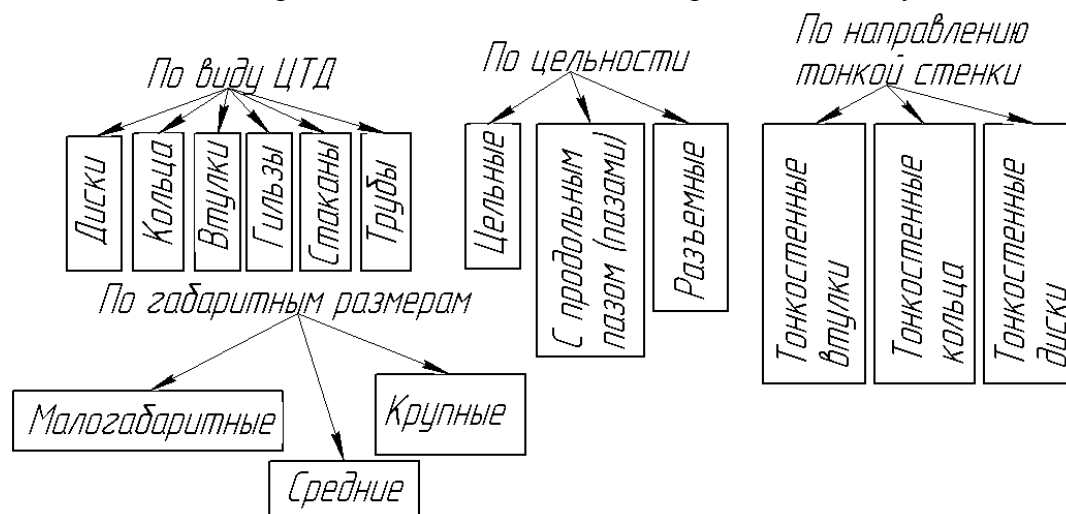


Рис. 1. Классификация ТЦД

Первый классификационный признак позволил выделить детали типа диск, кольцо, втулка, гильза, стакан и труба. Следует отметить что детали типа кольцо обладают малой жесткостью в 2х направлениях, к втулкам относят цилиндрические

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

детали с центральным отверстием одного диаметра и отношением $L/D < 5$. К гильзам относят цилиндрические детали с глухим центральным отверстием, а к стаканам - детали с внутренними ступенями в отверстии. Трубы представляют собой цилиндрические детали без внутренних и наружных ступеней с $L/D > 5$. При обработки деталей типа труба необходимо также учитывать жесткость в поперечном направлении.

Второй классификационный признак учитывает цельность и сплошность ТЦД. По этому признаку выделим цельные детали без отверстий и пазов, детали с продольным одним или несколькими пазами (разрезные втулки и цанги), и разъемные к которым относятся, например, вкладыши подшипников скольжения.

Третий классификационный признак учитываем направление снижения жесткости по причине наличия тонкой стенки. По этому признаку выделим втулки с тонкой стенкой по цилиндрической поверхности, диски, с тонкой стенкой по торцу и кольца с тонкой стенкой по обоим направлениям.

Четвертый признак учитывает габаритные размеры деталей. В данной группе выделим малогабаритные (массой до 0,1 кг), средние (массой от 0,1 до 10 кг) и крупногабаритные детали массой более 10 кг.

На рис. 2 представлена блок схема структуры исследований. Из схемы видно, что процесс синтеза структуры рационального технологического процесса производства ТЦД должен начинаться с установления начальных данных, а именно анализа и исследования известных способов и методов обработки ТЦД, а также анализа множества конструкций ТЦД. Этот этап необходим с учетом того что существуют ограничения для определенных этапов предлагаемого технологического процесса в связи с ограниченностью технологических возможностей оборудования. Поэтому в работе выполнена классификация ТЦД по основным конструктивным признакам, а также классификация типовой ТЦД на основе морфологического анализа, позволившая выделить основные группы элементов ТЦД и их возможные варианты.

После выявления основных групп ТЦД и классификации их элементов, выполнен синтез структуры рационального технологического процесса их обработки, при котором заданные параметры качества изделий и эффективности технологического процесса достигаются на этапах отделочной и упрочняющей обработки. На данном этапе для детали представителя (тонкостенная втулка) разрабатывается маршрутно-операционный технологический процесс, определяются режимы обработки с учетом жесткости конкретной детали и приводятся рекомендации по базированию и закреплению детали с учетом возможных деформаций под действием усилий резания и закрепления детали.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

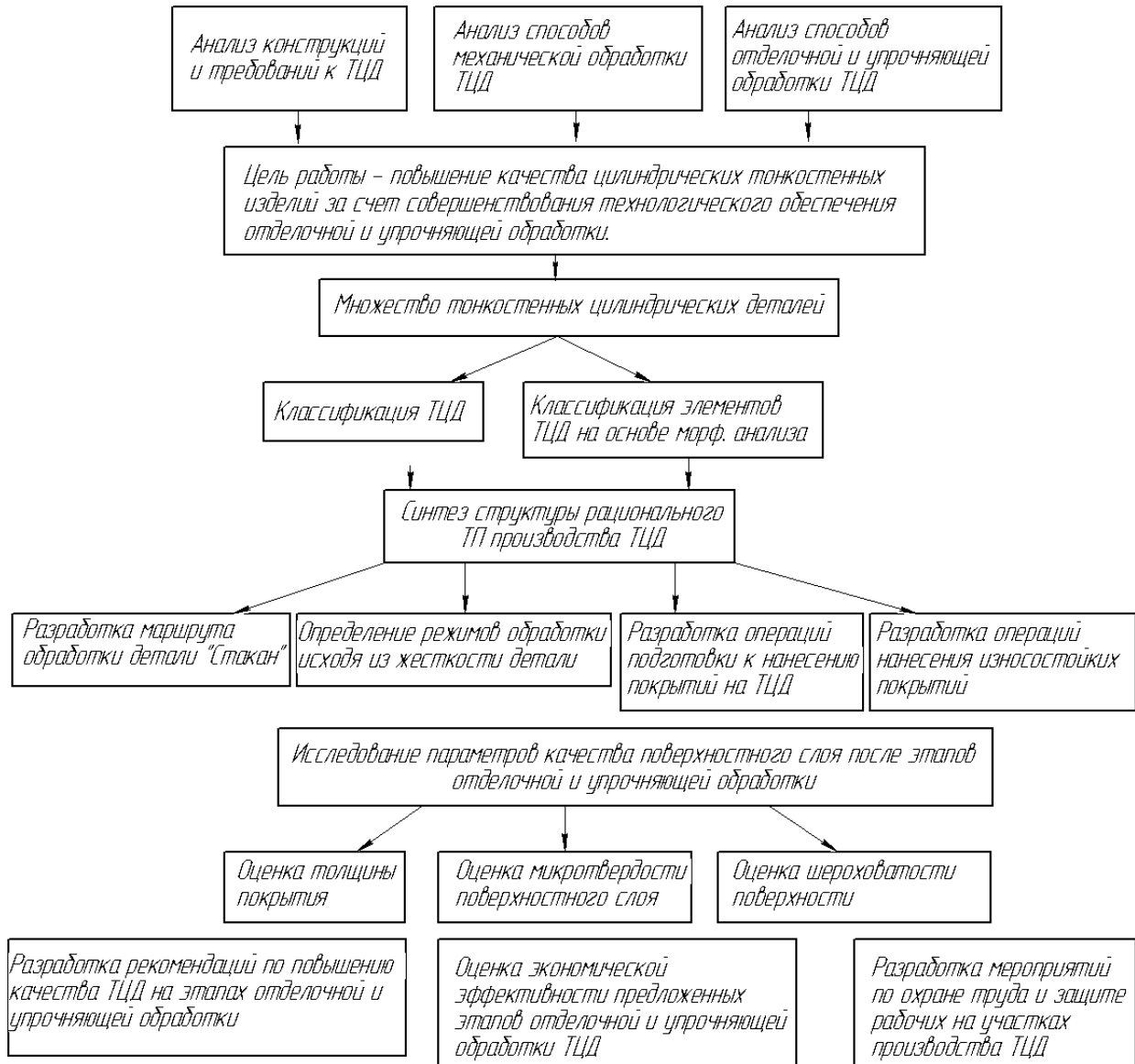


Рис.2. Блок-схема структуры проведения исследований

Дальнейшие этапы направлены на разработку операций отделочной механической обработки с целью подготовки поверхностей к нанесению покрытий, очистки и обезжиривания поверхностей, собственно нанесение износостойких покрытий и отделочной обработки поверхностей с покрытиями.

На следующем этапе, для оценки результатов отделочной и упрочняющей обработки ТЦД, осуществляется исследование состояние поверхностного слоя деталей с износостойкими покрытиями. Исследования направлены на определение толщины покрытия, микротвердости поверхностного слоя и степени износа поверхности при работе детали в узле трения.

По результатам выполненных исследований разрабатываются рекомендации по повышению качества ТЦД за счет рациональной структуры технологического процесса обработки ТЦД подвергаемых отделочной и упрочняющей обработке. Оценка

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

предложенного технологического процесса и рекомендаций по обработке ТЦД должна быть подтверждена расчетом экономической эффективности.

Таким образом разработанная блок схема охватывает все этапы выполнения исследований направленные на повышение качества ТЦД за счет отделочной и упрочняющей обработки рабочих поверхностей, и устанавливает последовательность их выполнения.

Список литературы: 1. Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения. - М.: Высшая школа, 1976. – 438 с. 2. Емельянов В.А., Мрочек Ж.А., Иванов И.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. Минск: Интеграл, 1998. – 286 с. 3. Ивашко В.С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. / В.С. Ивашко, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. – Мн.: Наука і техника, 1996. – 375 с.

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА НА КАЧЕСТВО ВИБРАЦИОННЫХ
МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Лебедев В.А., Кукаркин И.Д. (Кафедра ТМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

E-mail: va.lebidev@yandex.ru; ilya.kukarkin@yandex.ru

***Аннотация.** В работе рассмотрен вопрос обеспечения качества деталей путем нанесения защитных покрытий вибрационным механохимическим способом. Выполнен обзор и анализ работ, в рамках которых исследовалось влияние теплового эффекта на качество механохимических покрытий. Представлена модель расчета адгезионной прочности с учетом теплового эффекта.*

***Ключевые слова:** Вибрационная обработка, механохимическое покрытие, тепловой эффект, качество покрытия.*

1. Введение

Отличительной особенностью ВиМХП от других способов нанесения покрытий является то, что их формирование происходит в условиях вибрационного ударно импульсного воздействия частиц рабочей среды. В результате динамического воздействия обеспечивается активация химических и физико-химических процессов, протекающих в поверхностном слое, происходит изменение его геометрических и физико-механических характеристик. Основными факторами, определяющими механизм формирования покрытия на поверхности металлов, являются: природа контактирующих материалов и их физико-химические свойства; степень участия металлической основы в образовании покрытия; условия формирования покрытий, обусловленные амплитудно-частотными параметрами виброволнового воздействия, видом и гранулометрическими характеристиками рабочей среды, уровнем создаваемых в зоне контакта динамических нагрузок. Исходя из этих факторов, предложена следующая классификация ВиМХП.

Группа 1 – покрытия сформированы на поверхности металла без взаимного проникновения материала покрытия и основного металла. Связь покрытия с металлом происходит на основе механического сцепления. Закономерностью образования такого рода покрытий является воздействие рабочей среды при максимальных режимах обработки. В качестве рабочих сред используют металлические шары различного диаметра.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Группа 2 – покрытия сформированы в результате взаимного структурного взаимодействия материала покрытия и металла детали, обеспечивающего механохимическую связь между ними. Закономерностью формирования данного рода покрытий является совместное воздействие двух видов энергии: механической и химической, одновременно отвечающих за процесс формирования покрытия. Режимы работы оборудования средние. В качестве рабочих сред используют различные материалы: фарфоровые, стеклянные, керамические, металлические шары.

Группа 3 – покрытия, для которых сам металл является исходным материалом: в результате химического взаимодействия металла с химическими растворами на поверхности формируется соответствующее покрытие. В данном случае механическая составляющая способствует активации процесса. Режимы работы оборудования мягкие, материал рабочих сред – полиэтилен, пластик, стекло.

Для всех ВиМХП, не зависимо от сложности физико-химических процессов, главным активирующим фактором их протекания является механическая энергия, подводимая в локальную зону поверхности подвергаемой покрытию. В рабочую камеру помещаются обрабатываемые изделия, наносимый материал в виде порошка и рабочая среда: абразивные, металлические, стеклянные, органические и другие материалы, после чего к рабочей камере подводится вибрационное воздействие. Дополнительно могут подводиться тепловая, электромагнитная и другие виды энергии, интенсифицирующие процесс или улучшающие качество обработки. Создаются условия для протекания процессов механической обработки в виде упругопластического деформирования и химических реакции адсорбции, диффузии, адгезии. В процессе обработки детали занимают различное положение в рабочей камере, что обеспечивает равномерную обработку всех участков поверхности.

Процесс нанесения покрытия на обрабатываемую поверхность вибрационной механохимической обработкой (ВиМХО) можно разделить на несколько этапов:

1) активация обрабатываемой поверхности, в ходе которой происходит испарение влаги и выгорание абсорбированных органических соединений, а затем начало образования ювенильных участков;

2) образование первичного слоя, характеризующееся образованием прочных химических связей между основой и частицами среды покрытия под действием механической энергии гранул активирующей среды;

3) наращивание толщины покрытия вследствие соединения частиц среды покрытия с нанесенным слоем сопровождающееся пластическим оттеснением, уплотнением и сглаживанием покрытия. При определенной температуре на этой стадии могут развиваться диффузионные процессы, увеличивающие его толщину и прочность сцепления с основой.

В настоящее время установлены основные закономерности получения ВиМХП, показатели качества которых зависят от ряда технологических факторов: режимов обработки; состояния поверхности обрабатываемых деталей; состава, количества и способа подачи материала покрытий. Существенное влияние на процесс формирования покрытий и их качество оказывают температурные условия, в которых реализуется обработка.

Целью данной работы является изучение влияния теплового эффекта на качество механохимических покрытий.

2. Основное содержание и результаты работы

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Так, по данным [2], зависимость изменения толщины алюминиевого покрытия от температуры в рабочей камере имеют следующий вид (рисунок 1):

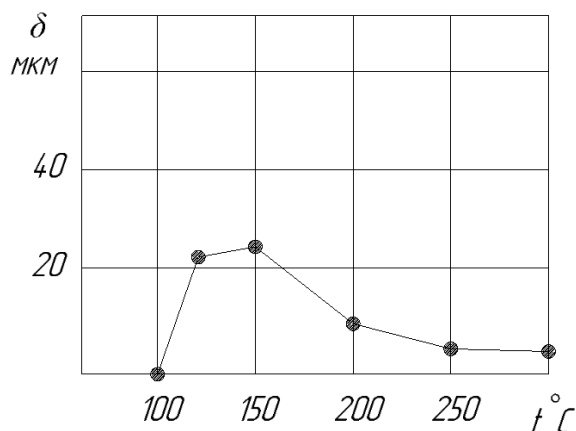


Рис. 1. Влияние температуры обработки на толщину алюминиевых ВиМХП

Из рисунка 1 следует, минимальная температура, при которой наблюдается эффект нанесения алюминиевого покрытия – 100°C. При этом отмечается, что светлое алюминиевое покрытие образуется на обрабатываемой поверхности при повышении температуры до 120-150°C. Температура 230-250°C не меняет условий образования покрытий, однако поверхность имеет более темный вид. Повышение температуры до 300°C приводит к получению покрытий серого цвета, которые на воздухе сильно темнеют. Наилучший результат обеспечивается в диапазоне температур 120 – 150 °C.

В работе [3] представлена зависимость влияния температуры на толщину цинковых покрытий в процессе ВиМХО и нанесения традиционным методом (рисунок 2).

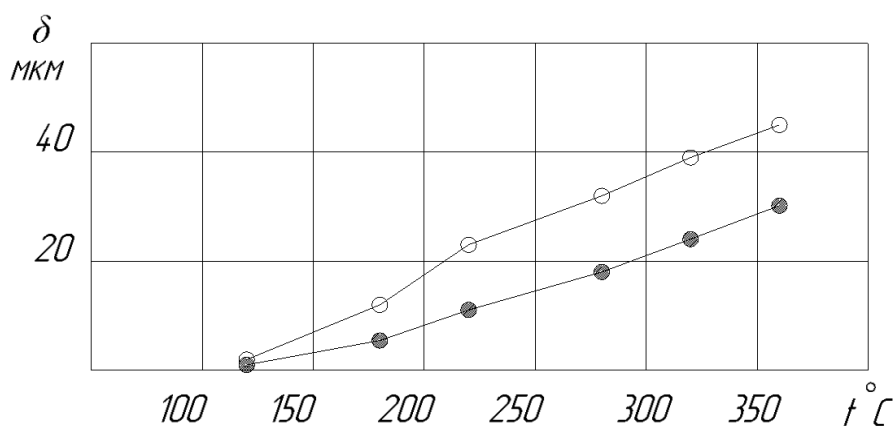


Рис. 2. Зависимость средних значений толщины цинковых покрытий, полученных методами ВиМХО (□) и традиционным методом цинкования (■) при разных температурах

Цинковое ВиМХП, нанесенное при температуре в рабочей камере 20-150°C имеет среднюю толщину 3 мкм, при плохой сплошности и высокой пористости. Начиная с температуры 200°C вследствие образования слоя Fe-Zn сквозная пористость

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

отсутствует, происходит значительный рост толщины покрытия, связанный с диффузионными процессами. Снижение внешней границы температурного режима диффузионного насыщения в цинковых порошковых смесях связано с ударно-импульсным воздействием частиц активирующей среды. При температуре ниже 100°C диффузионный процесс не наблюдается. Начиная от 120°C процесс диффузии протекает медленно, покрытие имеет точечный характер. При 120°C покрытие составляет порядка нескольких мкм. При 180°C - 200°C образуется гладкое, светло-серого цвета покрытие толщиной 10-15 мкм. При температуре 220-250°C толщина покрытия увеличивается до 25 мкм, однако поверхность становится более шероховатой и пористой. При более высокой температуре образуются наплывы, хотя толщина покрытия увеличивается. Таким образом, установлено, что оптимальный температурный диапазон лежит в пределах от 180-250°C.

Сравнительные исследования, представленные на рисунке 2, показали, что при традиционном цинковании диффузионный процесс протекает слабее, покрытие получается неравномерным: в 1,5–2 раза меньше по толщине, чем в процессе ВиМХО. Кроме того, при температуре ниже 100°C диффузионный процесс не наблюдается из-за отсутствия условий для выгорания органических веществ и испарения влаги из обрабатываемой поверхности и частиц порошка.

По данным [2, 3], проиллюстрированным на рисунке 3, сквозная пористость алюминиевого и цинк-алюминиевого ВиМХП зависит от их толщины. Покрытие толщиной менее 5 мкм содержит 10-15 пор на 1 см² своей поверхности, покрытие же, имеющее толщину 15-20 мкм, лишь 2-3 такие поры. На оцинкованной поверхности пористость проявляется лишь у покрытий, полученных при температуре ниже 200 °C. При повышенной температуре из-за образования промежуточного слоя Fe-Zn сквозная пористость отсутствует.

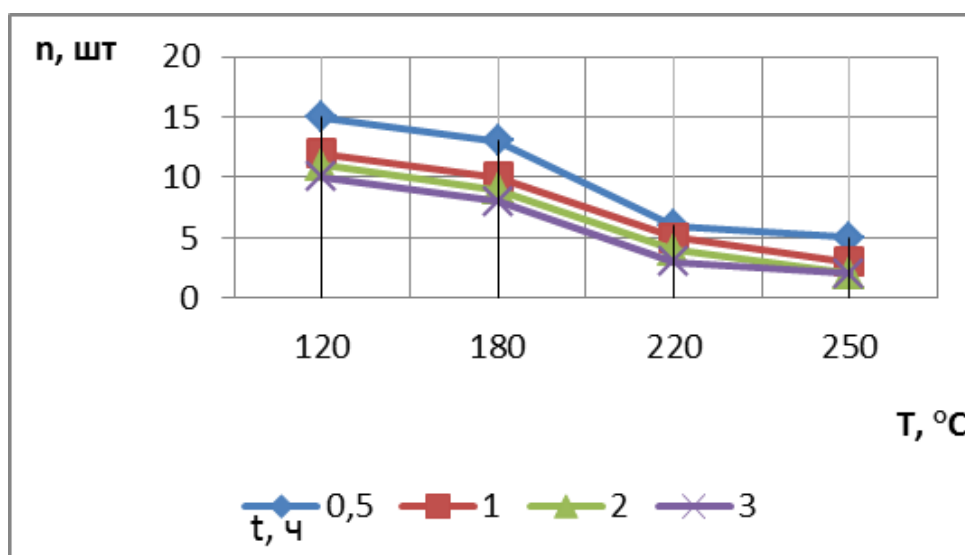


Рис. 3. Зависимость пористости цинкового ВиМХП от температуры нанесения

Исследования шероховатости цинкового покрытия в процессе ВиМХО, приведённые в работе [3], показали, что изменения температурного режима процесса не оказывает на неё существенного влияния (рисунок 4).

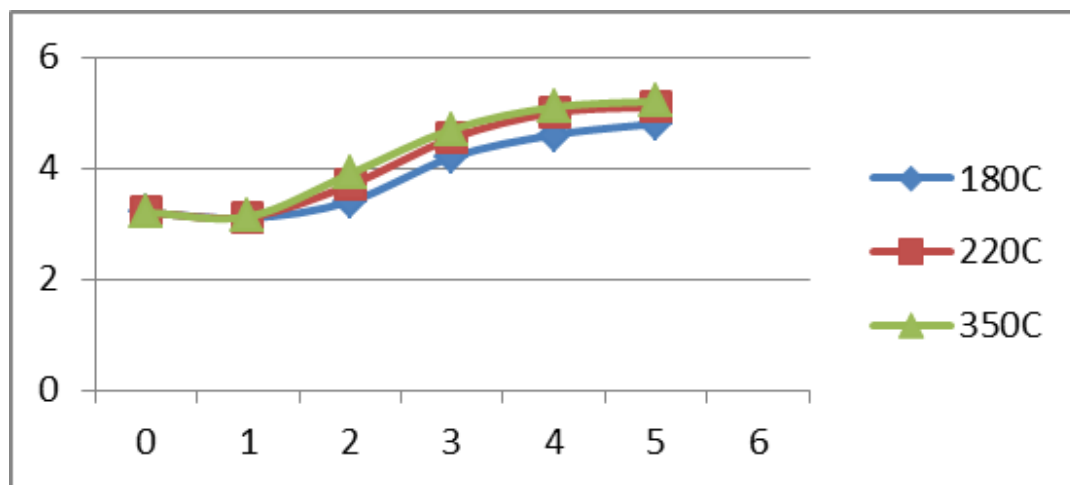


Рис. 4. Изменение шероховатости цинкового ВиМХП при различной температуре нанесения

Любое покрытие, наносимое на поверхность материала, можно оценить прочностью ее связи с поверхностью материала-подложки. Таким показателем является адгезия.

Усталостные испытания плоских образцов с радиусом 1,5 мм, покрытых цинком методом ВиМХО при температурах 180-250°C, путём циклического изгиба до появления трещин и отслаиваний показали высокую адгезионную прочность покрытия с основным металлом [3], которая практически совпадает с количеством циклов до разрушения материала образца.

3. Выводы

Приведённые результаты исследований позволяют констатировать, что тепловой эффект оказывает существенное влияние на качество покрытий и их эксплуатационные свойства. Доказано, что от температуры в рабочей камере зависит процесс диффузии, влияющий на скорость процесса и, как следствие, на общее время обработки.

Процесс формирования ВиМХП наиболее наглядно получил свое описание в расчетно-аналитической модели технологической системы вибрационной механохимической обработки, обеспечивающей получение покрытия на поверхности материала требуемой по условиям эксплуатации прочности, критерием которой является адгезия (1), в которой первое слагаемое учитывает вклад в неё теплового эффекта, определяющего повышения связанной энергии за счет роста энтропии; второе слагаемое – энергии упругопластических искажений кристаллической решетки в результате механического воздействия инденторов рабочей среды; третье слагаемое – изменение внутренней энергии поверхностного слоя, модифицированного в результате химического взаимодействия контактирующих сред.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

$$E_a = RhT \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right) + 10^{-6} V_m \left(\frac{\sigma_{\text{Э}}^2}{2E} + K_a \sigma_{\text{Э}} \frac{d}{D} \right) - \Delta G^0, \quad (1)$$

где: E_a – средняя энергия единицы связи, обеспечивающей адгезию модифицированного путем химико-механического синтеза локального микрообъема на границе раздела контактирующих сред;

R – постоянная Больцмана;

h – толщина ВиМХП;

T – температура процесса ВиМХО;

τ – время пребывания системы в состоянии механохимического синтеза;

τ_0 – период тепловых колебаний атомов;

V_m – молярный объем;

$\sigma_{\text{Э}}$ – эффективное напряжение;

E – модуль упругости;

K_a – коэффициента аккумуляирования механической энергии, который показывает долю запасаемой энергии относительно всей затраченной работы ($K_a = 0,2 \dots 0,3$);

d – диаметр пластического отпечатка;

D – диаметр индентора рабочей среды;

ΔG^0 – изменение свободной энергии Гиббса.

Следует учитывать, что изменение температуры процесса оказывает влияние на изменение всех слагаемых модели (1) за счет: изменения кинетической энергии движения молекул и как следствие характеристик материала детали и скорости химических реакций, определяющих в итоге адгезионную прочность покрытия, его качественные характеристики, а также производительность процесса нанесения ВиМХП.

Список литературы: 1. Иванов В.В. Процессы и методология создания поверхностных слоев высокоресурсных изделий путем вибрационного формирования покрытий комбинированным химико-механическим воздействием. [Текст]: дис. ...д.т.н: 05.02.07. – Ростов–н/Д, 2017. 2. Анкудимов Ю.П. Разработка комбинированного процесса вибрационной отделочно-упрочняющей обработки деталей (в интервале температур 20-350 °С). [Текст]: дис. ...к.т.н: 05.02.08. – Ростов–н/Д, 1983. 3. Калмыкова Н.А. Разработка и исследование комбинированного процесса вибрационной механо-химико-термической обработки деталей (на примере образования цинкового покрытия). [Текст]: дис...к.т.н: 05.02.08. – Ростов–н/Д, 2005. 4. Энергетическое условие формирования вибрационных механохимических покрытий и оценка их адгезионной прочности [Текст] / Лебедев В.А., Иванов В.В., Штынь С.Ю., Давыдова И.В. // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2015. - № 8. - с. 34-39.

ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ ПЛЕНКИ И ПОКРЫТИЯ

Шпилевский Э.М., Филатов С.А.

(ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)
Тел./Факс +375(029)6357732, +375(017)3268490; +375(17)2922513;

E-mail: eshpilevske@rambler.ru, fil@itmo.by

Abstract: *The structure, electrical, thermoelectric, tensoelectric and tribological properties of metal films containing fullerenes in different concentrations have been investigated. It is shown that such films can be used as coatings for parts of friction units, movable electrical contacts, as well as active elements of sensor electronics devices.*

Key words: *fullerenes, metals, films, structure, electrical, thermoelectric, tensoelectric and tribological properties, coatings, sensors*

Введение

Фуллерены в принципиально новые молекулы позволяют создавать новые материалы как результат химических реакций, твёрдых и жидких растворов, образования композитов. Молекула C_{60} обладает наиболее высокой среди фуллеренов симметрией и наибольшей стабильностью. Диаметр молекулы — 7,11 Å. Молекулы фуллеренов являются сильными окислителями, так как обладают высокой электроотрицательностью и способны присоединять к себе до шести свободных электронов [1].

Показано, что фуллереносодержащие материалы обладают рядом уникальных свойств: низкими значениями коэффициентов трения и высокой износостойкостью [1,2]; повышенной коррозионной стойкостью и высокой прочностью [2,3]; повышенными упругими свойствами и нелинейными оптическими характеристиками. Выявлены нелинейные оптические эффекты в фуллереносодержащих материалах (генерация третьей гармоники, ограничение интенсивности выходящего излучения) [3,4].

В настоящей работе исследованы структура, электрические, термоэлектрические, тензоэлектрические и трибологические свойства металлических пленок, содержащих фуллерены в разных концентрациях систем $Cu-C_{60}$, $Al-C_{60}$, $Sn-C_{60}$, $Ti-C_{60}$ с целью выявления возможных применений. Пленки получали в вакууме методом испарения и конденсации. В качестве испарителей для металлов использовались молибденовые «лодочки», для C_{60} — танталовые. Получение пленок с различным содержанием фуллеренов обеспечивалось различными плотностями атомно-кластерных потоков компонентов, что в свою очередь достигалось регулированием температуры испарителей и изменением их расположения относительно подложки. Реальная концентрация фуллеренов в металлфуллереновых пленках определялась методом рентгеновского микроанализа по интенсивности характеристического рентгеновского излучения K_{α} -линий атомов металла и углерода в пленках заданной толщины. В качестве исходного материала использовались металлы высокой чистоты (Me1-0) и фуллеритовый порошок C_{60} чистоты 99,9 % производства КБТМ-ОМО (г. Минск) Выявлены нелинейные оптические эффекты в (генерация третьей гармоники, ограничение интенсивности выходящего излучения) [5,6].

1. Важнейшие свойства фуллереносодержащих пленок

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Наноструктурированность. Введение фуллеренов в материалы даже в небольших долях (до 1,0 масс. %) существенно изменяет структуру, обеспечивая малый (до десятков нанометров) размер зерен. Для примера на рис. 1. представлены виды поверхностей пленок чистого алюминия и композитной Al-C₆₀.

Плѐнки Me-C₆₀, полученные вакуумным осаждением представляют мелкодисперсные структуры. Размер зерна может изменяться от 30 до 120 нм в зависимости от соотношения металлической и фуллереновой компонентов [7].

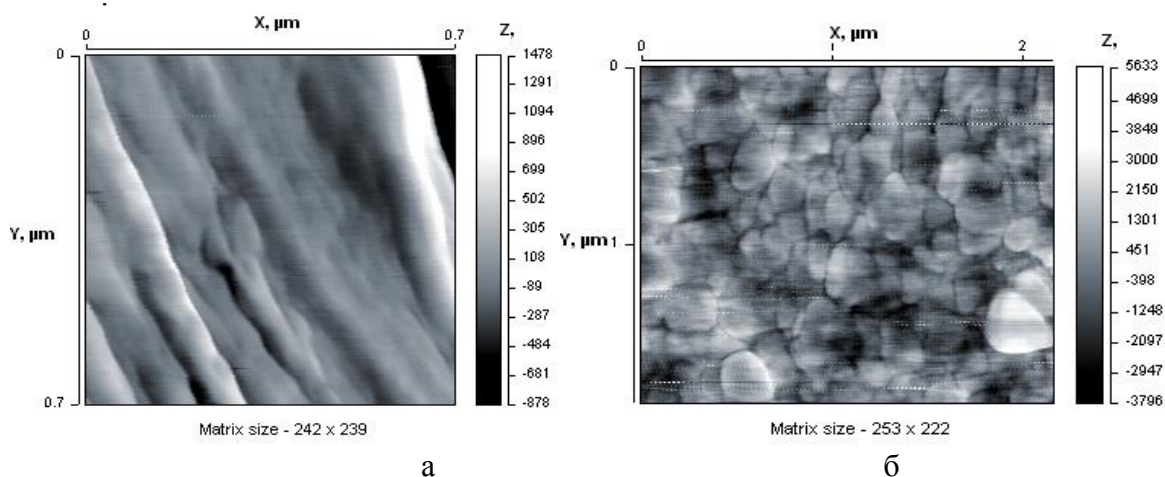


Рис.1 — АСМ-изображение поверхностей алюминия: а - чистый алюминий, б – Al+1%С₆₀

При введении фуллеренов в металлы в зависимости от долевого состава компонентов существенно изменяют их физические и физико-химические свойства. Например, коэффициент трения и износ изменяются в разы, а электрическое сопротивление может изменяться в пределах многих порядков. На рис 2 приведены зависимости удельного электрического сопротивления плѐнок ρ от долевого соотношения $x=n_{Me}/n_{C60}$.

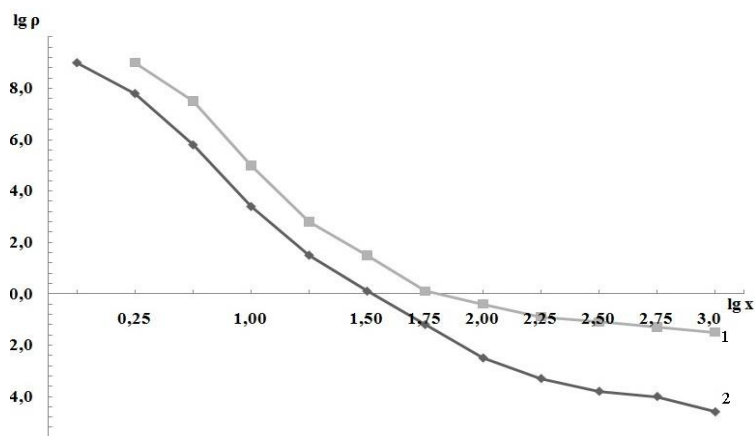


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления плѐнок ρ от долевого соотношения $x=n_{Me}/n_{C60}$ для различных систем: 1 - Ti-C₆₀, 2 - Cu-C₆₀

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

В таблицах 1 - 3 приведены некоторые характеристики покрытий металл-фуллереновых пленок.

Таблица 1- Характеристики покрытий, полученных совместной конденсацией металлов и фуллеренов

Система	Нанотвёрдость, ГПа	Кoeff. сухого трения	Модуль Юнга, ГПа
C ₆₀	1,02	0,21	62,2
Cu-C ₆₀	1,29	0,18	86,2
Al-C ₆₀	1,94	0,16	95,8
Ti-C ₆₀	3,96	0,16	105,8

Таблица 2 - Диаметр зерна (d), поверхностное электросопротивление ($R_{\square}=\rho/\delta$) и коэффициент тензочувствительности (γ) металл-фуллереновых плёнок

Система	Масс. Доля C ₆₀ , %	d, нм	R _□ , Ом/□	γ
Cu- C ₆₀	3,0	40	6,60	6,9
	6,0	10	112	10,2
Al-C ₆₀	3,0	40	29,2	6,3
	6,0	30	421	8,2
Sn-C ₆₀	3,0	20	39,4	7,5
	6,0	20	319	9,4
Ti-C ₆₀	6,0	20	52,0	6,6
	12,0	10	418	9,6

Таблица 3

Зависимость ТДС (α) и термоэлектрической эффективности (Z) пленок систем Ti-C₆₀ и Cu-C₆₀ разного долевого состава и толщины (Δ_{cp})

Материал, n_{Me}/n_{C60}	$\alpha \cdot 10^6$, В·К ⁻¹ .	Z·10 ³ , К ⁻¹	$\alpha \cdot 10^6$, В·К ⁻¹	Z·10 ³ , К ⁻¹
	$\Delta_{cp}=95$ нм		$\Delta_{cp}=300$ нм	
Ti	8,2	2,72	5,5	1,22
6	25	25,3	18,2	13,4
60	20	16,2	16,3	12,7
200	18	13,1	13,2	8,36
500	16	10,3	10,1	4,95
Cu	5,2	1,09	3,7	0,55
6	25	25,3	19,0	14,6
60	16	10,3	9,1	3,35
270	10	4,05	7,6	2,34

1. Фуллеренсодержащие покрытия

Испытания металл-фуллереновых покрытий указывают на широкие возможности их использования в машиностроении, авиастроении, в других областях

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

хозяйственной деятельности, где возникают экстремальные условия эксплуатации приборов и механизмов.

Покрyтия для деталей нагруженных узлов трения. Металлфуллереновые пленки имеют низкий коэффициент трения, нелинейно зависящий от концентрации и достаточно высокую адгезионную прочность. Коэффициенты трения покрытий (при скорости скольжения $0,12 \text{ мс}^{-1}$ и нагрузке на острие равной $5,0 \cdot 10^6 \text{ Нм}^{-2}$) на стеклянной подложке составили 0,16-0,17, на титановой подложке – 0,11-0,12, а адгезионная прочность покрытий титан-фуллерен на этих подложках равна 0,62 ГПа и 0,84 ГПа, соответственно. Предел прочности покрытий составляет 8,9 ГПа, а модуль Юнга – 91 ГПа [2,7].

Покрyтия для подвижных электрических контактов. Анализ результатов, приведенных в таблице 2 показывает, что низкие значения коэффициентов трения для металлфуллереновых слоев объясняются возможной сменой механизма трения. Фуллерены вследствие замкнутости всех σ -связей могут проявлять свойства молекулярного подшипника. Таким образом, несмотря на используемую при трибологических испытаниях схему «острие – покрытие», предполагающую проявление механизма «трение-скольжения», наличие молекул фуллерена обеспечивает действие механизма «трение – качение».

Удачное сочетание достаточно высокой электрической проводимости и низкого коэффициента трения.

Например, плёнки систем Cu-C_{60} , Al-C_{60} обладают достаточно высокой электрической проводимостью и низким коэффициентом трения. Они пригодны для применения в качестве покрытий для подвижных электрических контактов.

Тензорезистивные датчики. Используя тензоэлектрический эффект могут быть построены тензодатчики на металлфуллереновых пленках. Металлфуллереновые пленки имеют высокий коэффициент тензочувствительности, в то время как самое высокое значение для металлов - для платины $\gamma = 1,6$.

Покрyтия для эндопротезов. Высокие прочностные характеристики, низкий коэффициент трения, высокую биологическую совместимость, низкую адгезию клеток крови сочетают плёнки Ti-C_{60} . Покрытия на основе этих структур можно рекомендовать для эндопротезов, в том числе, для протезов подвижных суставов (коленных, локтевых и др.).

Пленки Ti-C_{60} , обладая низкими коэффициентом трения и электрическим сопротивлением, высокой высокими химической устойчивостью и биологической совместимостью, изготовленные покрытия перспективны для биомедицинских применений, например для подвижных эндопротезов [8].

Металлфуллереновые покрытия обладают важными механическими, трибологическими, коррозионными свойствами, сочетая в одном материале трудносовместимые свойства (например, малую плотность с высокой прочностью, высокую адгезию и низкий коэффициент трения, высокую прочность и высокую пластичность). Сочетание названных свойств позволяет сделать вывод о перспективности применения металлфуллереновых покрытий в экстремальных условиях (биомедицине, кораблестроении, авиационной и космической технике)

Термоэлектрические датчики. Термоэлектрические свойства металлфуллереновых пленочных структур подробно изучены в работе [9]. Как следует из таблицы 3, значения термоэлектрической эффективности на порядок превышают значения термоэлектрической эффективности, полученных на полупроводниковых

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

структурах (например, на пленках SiGe и BiTe разной степени легирования [10] и других полупроводниковых структур [11]).

Заключение

Проведенные исследования показали, что двумерные системы на основе фуллеренов и металлов обладают уникальными технологически управляемыми свойствами. Они могут найти самое широкое применение в качестве электротехнических материалов, поскольку а) электрические свойства двумерных систем на основе фуллеренов и металлов управляемо могут изменяться в широких пределах (от 10^{-4} до 10^9 Ом·м); б) обладают высокими значениями прочности и твердости; в) имеют низкий коэффициент трения; г) получение структур на основе фуллеренов и металлов вписывается в технологию изготовления интегральных схем.

Установлено, фуллереносодержащие металлические пленки. могут быть использованы как покрытия деталей узлов трения, подвижных электрических контактов, а также как активные элементы устройств сенсорной электроники.

Список литературы: 1. Витязь П. А., Свидуневич Н. А., Куис Д. В. Наноматериаловедение: учеб. Пособие. Минск: Высш. шк., 2015. – 511 с. 2. Shpilevsky E. M., Zhdanok S. A., Schur D. V. Containing carbon nanoparticles materials in hydrogen energy. Hydrogen Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems – II. Dordrecht: Springer Science, 2011. - P. 23–39. 3. Шпилевский Э.М. Структура и физические свойства металл-фуллереновых тонких пленок. //Вакуумная наука и технология, 2014. Т.23, №1.- С. 73-77. 4. Shpilevsky E.M., Penyazkov O.G., Filatov S.A., Shilagardi G., Tuvshintur P., Timur-Bator D., Ulam-Orgikh D. Modification of materials by carbon nanoparticles//Solid State Phenomena Shweizarland, 2018.Vol. 271. - P.70-75. 5. Дрозд А.С., Матюшков В.Е., Стельмах В.Ф., Шпилевский Э.М. Дуговая установка для производства фуллеренсодержащего продукта // Фуллерены и фуллеренсодержащие материалы: Сб. науч. Тр. – Минск: «Технопринт», 2001. – С.143 – 149. 6. Адашкевич С. В., Ивашкевич О. А., Стельмах В. Ф., Шпилевский Э. М., Шункевич Т. М., Солдатов А. Г. Установка для экстракции фуллеренов // Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах.— Минск: УП “Технопринт”, 2002.— С. 171—172. 7. Nanostructures metal–fullerene films and coatings: production and some properties. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2018. Vol. 91, No. 6, Pp. 1543-1549. 8. E.M. Shpilevsky, M.E. Shpilevsky, A.G. Soldatov, L.A. Matveeva. Titanium-fullerene coating for bio-medical applicaton. Abs. 1st Russian - Hellenic Symposium “Biomaterials and bionanomaterials: resent advances and safety - toxicology issues”, May 3-9, 2010, Heraklion, Greece, p. 35. 9. Vityaz P.A., Shpilevsky E.M. Fullerenes in matrices of different substances. Journal of engineering Physics and Thermophysics, 2012.Vol. 85, № 4.- P. 780-787. 10. Шпилевский Э. М., Филатов С.А.,Замковец А.Д., Шилагарди Г., Улам-Оргих Д., Мунцецег С. Термоэлектрические свойства металлфуллереновых пленок.//Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах. Сб. науч. статей. Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. 2021.- С. 317-324. 11. Атакулов Ш.Б., Отаженов С.М., Расулов Р.Т., Розиюхунова Н., Илхомхужаева Х. Термоэлектрическая эффективность пленок теллурида свинца при легировании элементами V группы // ФИП, 2009, т.7, № 1-2. - С.119-122. 12. BoukaiAkram I., Dunimovich Yu., Tahir-Kheli J. et al. Silicon nanowires as efficient thermoelectric materials//Nature. 2008. 451. - P. 168-171.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПЛАСИНОК ИЗ ТВЁРДОГО СПЛАВА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 110Г13Л**

Бутенко В.И., Лютая А.А. (кафедра ТМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

***Аннотация.** Приведены результаты исследования процесса износа режущих кромок модифицированных нитридом титана твёрдосплавных пластин при торцовом точении поверхностей деталей из стали 110Г13Л. Выявлена особенность их изнашивания. Определена толщина наносимого покрытия, обеспечивающая не только требуемую стойкость инструмента, но и эффективные режимы обработки.*

***Ключевые слова:** токарная обработка, стойкость реза, модифицированный слой, режущая кромка, износ, эффективность.*

1. Введение.

Токарная обработка деталей из высокомарганцовистой стали 110Г13Л представляет определённые трудности, вызванные повышенной температурой в зоне резания, огромными значениями нормальных давлений на передней поверхности инструмента и слабо развитым на ней наростом [1]. В работе [2] показано, что модифицирование режущей части инструментов нитрид титановым покрытием путём воздействия низкотемпературной плазмы позволяет существенно повысить эксплуатационную надёжность инструмента при механической обработке заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов. Вследствие этого представляет практический интерес исследование процесса изнашивания многогранных модифицированных пластинок из твёрдого сплава при токарной обработке деталей из стали 110Г13Л, направленные на поиск условий, при которых будет обеспечиваться наивысшая стойкость инструмента, его безотказность, требуемое качество обработанной поверхности детали и устойчивость процесса резания.

2. Основное содержание и результаты работы

В исследованиях использовались сменные пластинки из твёрдого сплава Т15К6, на рабочие поверхности которых создавался модифицированный слой из нитрида титана TiN. Нанесение нитрид титанового покрытия осуществлялось на установке плазменного упрочнения мод. УФПУ-115-Р, оснащённым плазматроном ПС-3-02 с плазмохимическим генератором НПХ-5-01 и прибором контроля нанесения покрытия УФПУ-БКК-15. Режимы нанесения нитрид титанового покрытия были приняты согласно рекомендациям, изложенным в работе [3] и составили: подводимая СВЧ-мощность – 850 Вт; давление ионизированного газа – 300 Па; потенциал смещения – 150 В; степень ионизации – 10^{-5} ; время обработки – 5 – 20 мин в зависимости от требуемой толщины модифицированного слоя или нитрид титанового покрытия. Толщина нитрид титанового покрытия и толщина модифицированного слоя на поверхности пластинки определялась при помощи толщиномера «Константа К-5», работающего с использованием электромагнитного поля и позволяющего в зависимости от настройки прибора производить измерения толщин токопроводящих материалов в диапазоне ($10^{-2} - 10^3$) мкм с точностью ± 1 нм. В исследованиях толщина нитрид титанового покрытия составляла $H_n = 6 - 28$ мкм, а толщина модифицированного слоя - $H_m = 100 - 300$ мкм.

Изучение закономерностей протекания процесса изнашивания сменных режущих пластинок, модифицированных нитридом титана, осуществлялось в сравнении с

изнашиванием не модифицированных пластинок при торцевом точении заготовок из стали 110Г13Л диаметром 80 мм, которые обрабатывались на станке мод. 1ИБ11П со скоростью резания на периферии $V = 1,05$ м/с, поперечной подаче $S = 0,15$ мм/об и глубине резания $t = 1,0$ мм. Величина размерного износа режущих кромок пластин по передней h_n и задней h_z определялась с помощью двухиндикаторных рычажно-зубчатых головок типа ИИГМ с ценой деления 0,01 мм, зафиксированных на поворотной штанге магнитной стойки и вращающихся относительно её вертикальной оси. Для наблюдения за динамикой износа модифицированной поверхности режущей пластинки резца использовался металлографический микроскоп МИМ-8 с фотонасадкой. Состояние поверхностей и режущих кромок пластин до и после проведения испытаний изучалось по их микрофотографиям, полученным с использованием цифровой видео-насадки HDCE-20 и оптической системы микротвёрдомера ПМТ-3.

Известно, что при торцевом точении детали износ передней и задней поверхностей главной режущей кромки сменной пластины отвечает за линейные контролируемые размеры обрабатываемой детали, а износ вспомогательной режущей кромки – за диаметрально контролируемые размеры [4]. В результате снятия припуска при торцевом точении вспомогательная режущая кромка пластины контактирует с вновь образованной поверхностью детали, оставляя след рабочего движения на поверхности детали и формируя его шероховатость по высотному параметру. На образующуюся шероховатость обработанной поверхности детали влияет геометрия режущего инструмента, в частности, главный φ и вспомогательный φ_1 углы в плане, радиус при вершине резца r_ϵ и подача S . Следует отметить, что чем меньше угол φ_1 , тем больше вспомогательная режущая кромка пластины приближена к обрабатываемой поверхности детали и тем больше вероятность контакта гребешков образовавшихся неровностей с режущей кромкой пластины.

Таким образом, устойчивость вспомогательной режущей кромки пластинки резца в указанных областях контактирования её с обрабатываемой поверхностью детали будет определять время работы режущего инструмента, если за контролируемый параметр принят диаметральный размер обрабатываемой детали. Стабильность этого размера также будет определять качество процесса модифицирования пластинки резца.

Исследуемые пластинки механически закреплялись на державке резца, который устанавливался в резцедержателе станка и имели следующие геометрические параметры режущей части: главный угол в плане $\varphi = 12^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 2^\circ$; угол при вершине $\psi = 80^\circ$; передний угол главной режущей кромки $\gamma = 8^\circ$; передний угол вспомогательной режущей кромки $\gamma_1 = -10^\circ$; задний угол главной режущей кромки $\alpha = 7^\circ$; задний угол вспомогательной режущей кромки $\alpha_1 = 9^\circ$; радиус при вершине $r_\epsilon = 0,1$ мм. Стойкость пластин оценивалась временем непрерывной работы их до достижения критерия износа по режущим кромкам. За критерий был принят износ режущей кромки пластины по передней поверхности, равный $[h_n] = 0,8$ мм, по задней поверхности – $[h_z] = 0,6$ мм.

В результате выполненных сравнительных исследований было обнаружено, что модифицирование сменных пластин из твёрдого сплава Т15К6 нитридом титана приводит к существенному изменению характера износа их по передней и задней поверхностям. На рис. 1 и 2 приведены фотографии внешнего вида передней (а) и задней (б) поверхностей пластин после торцевого точения заготовок из стали 110Г13Л в течение 22 мин. для обычных пластин (рис. 1) и 48 мин. – для пластин, модифицированных нитридом титана (рис. 2). Анализ представленных фотографий со-

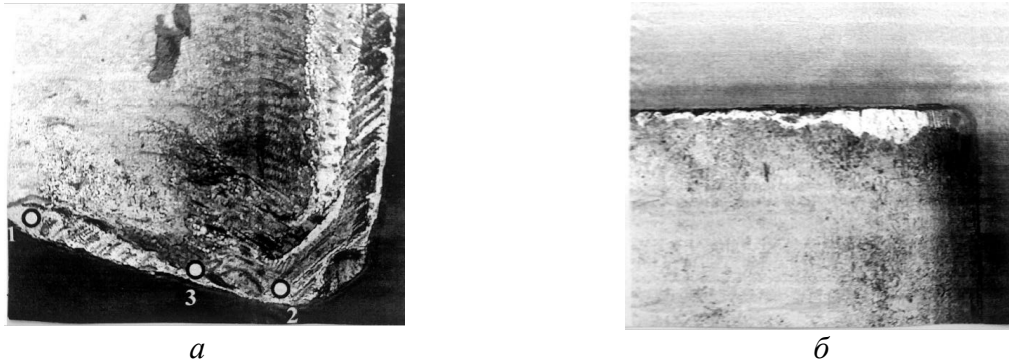


Рис. 1. Внешний вид передней (а) и задней (б) поверхностей не модифицированных пластин после 22 мин. торцевого точения заготовок из стали 110Г13Л ($V = 1,05$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,0$ мм; увеличение 16)

стояния передней и задней поверхностей режущих пластинок за период их стойкости свидетельствует о более равномерном износе режущих кромок у модифицированных пластинок при обработке стали 110Г13Л (рис. 2). При этом у модифицированных нитридом титана пластинок не отмечено выкрашивание режущих кромок с увеличением глубины резания, что характерно для не модифицированных пластин (рис. 3).

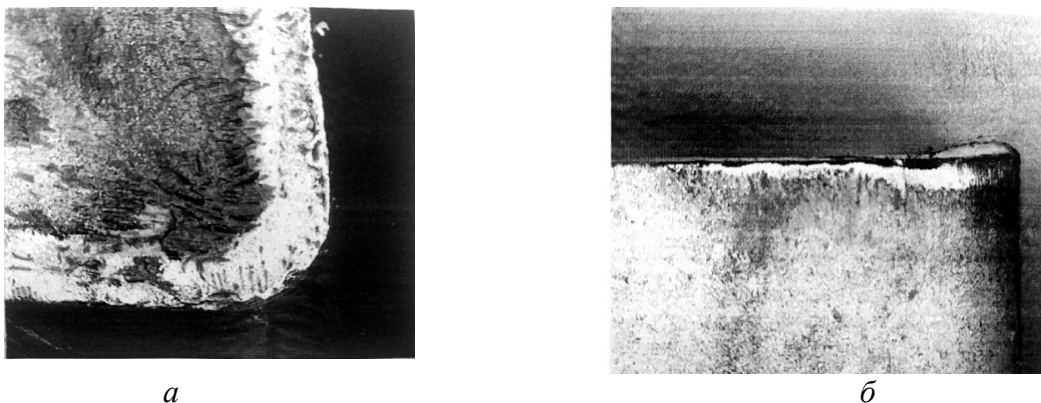


Рис. 2. Внешний вид передней (а) и задней (б) поверхностей модифицированных нитридом титана режущих пластинок после 48 мин. торцевого точения заготовок из стали 110Г13Л ($V = 1,05$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,0$ мм; увеличение 16)

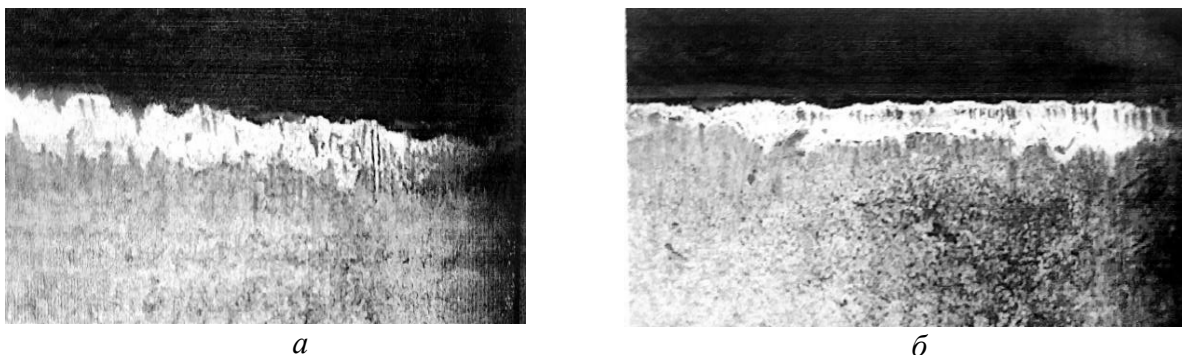


Рис. 3. Состояние режущей кромки задней поверхности не модифицированной (а) и модифицированной (б) режущей пластинки после 30 мин. торцевого точения деталей из стали 110Г13Л: а – $t = 0,5$ мм; б – $t = 1,0$ мм ($V = 1,05$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; увеличение 16)

Металлографические исследования процесса изнашивания передней и задней поверхностей модифицированных ритридом титана твёрдосплавных пластин, выполненные на микроскопе МБС-9, показали, что износ режущих кромок зависит от толщины нанесённого слоя (рис. 4). Одновременно было установлено, что при контактном взаимодействии отделяемого материала с покрытием из нитрида титана толщиной более 15 мкм при износе по передней поверхности, равном $h_n = 0,5$ мм, или при износе режущей кромки по задней поверхности, равном $h_z = 0,4$ мм, происходит отрыв части покрытия в виде отдельных лепестков и оголение материала основы режущих пластин. При этом на задней поверхности вспомогательной режущей кромке и радиусе закругле-

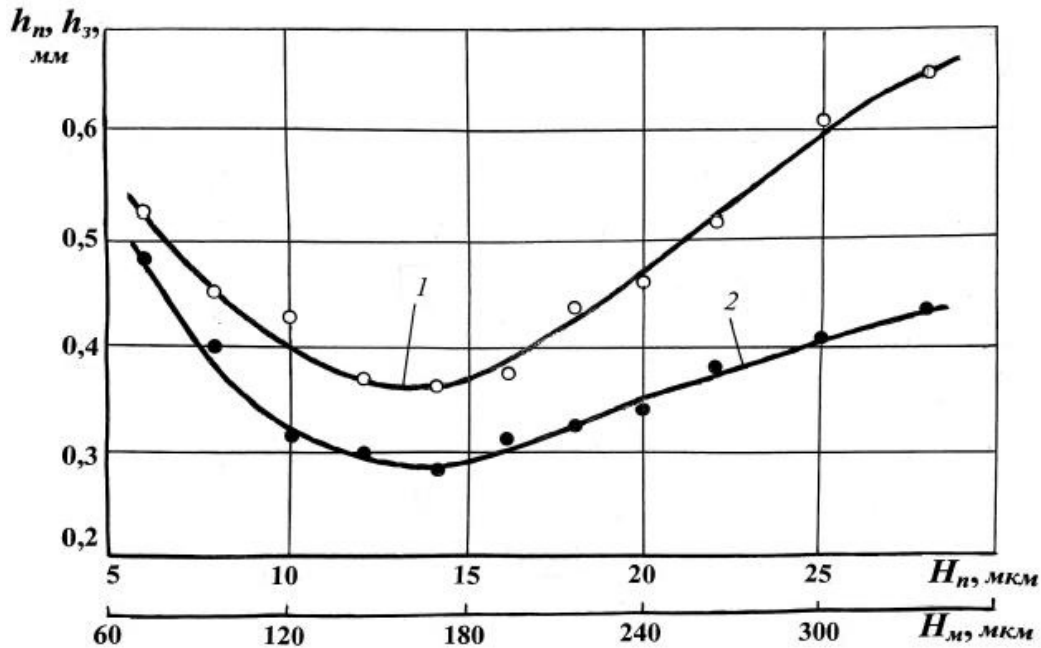


Рис. 4. Зависимость износа режущей кромки по передней h_n и задней поверхностям пластины h_z от толщины нанесённого слоя нитрид титана H_n или модифицированного слоя H_m ($V = 1,05$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,0$ мм, $T = 30$ мин)

зния вершины режущей пластинки образуются своеобразные проточкины длиной от 0,25 мм до 0,60 мм и шириной 0,15 – 0,25 мм (рис. 5), что ускоряет процесс изнашивания модифицированной пластинки. В результате возникла необходимость в установлении наиболее рациональной толщины модифицированного нитрид титаном слоя на поверхности режущей пластинки при токарной обработке деталей из стали 110Г13Л.

Используя метод планирования эксперимента типа 2^3 , были получены следующие эмпирические зависимости для определения толщины нитрид титанового покрытия H_n , обеспечивающие стойкостные показатели инструмента по параметрам износа режущих кромок $[h_n]$ и $[h_z]$ и заданной стойкости $T = 45$ мин:

при установленном критерии износа режущей кромки по передней поверхности $[h_n] = 0,8$ мм

$$H_n = 22,57 \cdot V^{0,69} \cdot S^{0,31} \cdot t^{0,42}, \quad (1)$$

при установленном критерии износа режущей кромки по задней поверхности $[h_z] = 0,6$ мм

$$H_n = 24,18 \cdot V^{0,55} \cdot S^{0,26} \cdot t^{0,38}. \quad (2)$$

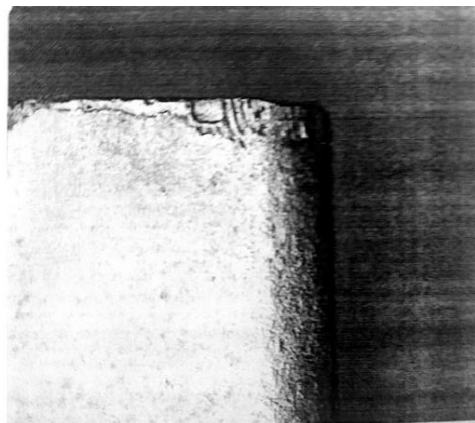


Рис. 5. Проточкины на задней поверхности вспомогательной режущей кромки пластины, модифицированной нитрид титаном (увеличение 16)

Полученные эмпирические формулы определения толщины наносимого нитрид титанового слоя H_n (1) и (2) справедливы в следующем диапазоне изменения режимов резания при торцовом точении поверхностей деталей из стали 110Г13Л: $V = (0,5 - 1,5)$ м/с; $S = (0,1 - 0,4)$ мм/об; $t = (0,3 - 2,0)$ мм. Они могут быть использованы технологами машиностроительных предприятий при разработке мероприятий по повышению эффективности токарной обработки деталей из стали 110Г13Л.

Исследования также показали, что между толщиной наносимого нитрид титанового покрытия H_n и толщиной образующегося модифицированного слоя H_m существует следующая связь: $H_m \approx 12 \cdot H_n$. Установленная зависимость между H_m и H_n согласуется с результатами исследований, приведёнными в работе [5].

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования износа режущих модифицированных нитрид титаном пластинок из твёрдого сплава Т15К6 при торцовом точении деталей из стали 110Г13Л позволили выявить особенности изнашивания режущих кромок твёрдосплавных пластин с нитрид титановым покрытием и определить толщину наносимого покрытия, обеспечивающего не только требуемые стойкостные показатели инструмента, но и эффективные режимы обработки.

Список литературы: 1. Бутенко, В.И. Особенности обработки и эксплуатации деталей машин из стали 110Г13Л / В.И. Бутенко, А.С. Демешкин, Л.В. Гусакова // Фундаментальные основы физики, химии и механики наукоёмких технологических систем формообразования и сборки изделий: сб. тр. науч. симпозиума технологов-машиностроителей. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2020. – С. 493 – 498. [https:// ntb.donstu.ru/content/2020229](https://ntb.donstu.ru/content/2020229). 2. Бржозовский Б.М. Упрочнение режущего инструмента воздействием низкотемпературной плазмы комбинированного разряда / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, Е.П. Зинина. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. – 176 с. 3. Зинина Е.П. Упрочнение режущего инструмента в плазме комбинированного разряда пониженного давления / Е.П. Зинина, В.В. Мартынов // СТИН. – 2007. - №6. – С. 18 – 20. 4. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием / А.А. Рыжкин, К.Г. Шучев, И.М. Климов. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2007. – 419 с. 5. Бржозовский Б.М. Интегральное оценивание качества процесса плазменной модификации рабочей части металлорежущего инструмента / Б.М. Бржозовский, С.Б. Венинг, В.В. Галушка [и др.]. – Саратов: Издат. дом «Райт-Экспо», 2014. – 160 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ
ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК**

Чайкин И. В., Михайлов А. Н.

(кафедра технологии машиностроения, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрены виды отделочно-упрочняющей обработки лопаток газотурбинного двигателя, которые эксплуатируются в условиях эрозионно-коррозионных воздействий среды, на основе технологического процесса.

Ключевые слова: Лопатки газотурбинного двигателя; Наполнитель; Установка; Виброабразивная обработка; Ультразвуковая обработка; Пневмодробеструйная обработка шариками.

1. Введение.

Лопатки газотурбинного двигателя являются основными элементами современных авиационных двигателей, которые определяют ресурс и надежность их эксплуатации в условиях действия агрессивной газовой среды. В процессе эксплуатации они работают в сложных условиях высокой температуры, влажности, жидких частиц, пыли, песка и других частиц в воздушном потоке, что приводит к возникновению химико-абразивной эрозии элементов лопаток и выходу их из строя.

Лопатки газотурбинного двигателя, как правило, имеют сложные формы, что затрудняет применение простых технологических схем обработки и требует разработки и изготовления специального оборудования, которое позволило бы осуществлять одновременность упрочнения всех поверхностей лопатки.

Технологический процесс поверхностного упрочнения лопаток осуществляется с помощью таких операций как:

- виброабразивная обработка;
- ультразвуковая обработка;
- пневмодробеструйная обработка шариками.

При упрочнении в поверхностном слое образуется текстура и остаточные напряжения. Каждая из этих операций технологического процесса изготовления лопаток газотурбинного двигателя влияет на характеристики поверхностного слоя [0; 0; 0].

2. Виброабразивная обработка.

Виброабразивная обработка лопаток представляет собой химико-механический процесс или механический процесс. Установка для финишной абразивной обработки лопаток работает на принципе использования неуравновешенных масс, которые создаются при помощи грузов, закрепленных на концах вала вибратора [0; 0; 0; 0].

В контейнер загружают абразивные гранулы, заливают рабочую жидкость и сообщают механические колебания с частотой от 20 до 50 Гц и амплитудой от 1 до 10 мм. Под действием колебаний рабочей среды обрабатываемые лопатки, свободно загруженные в контейнер, приходят в интенсивное движение.

Обрабатываемые лопатки и рабочая абразивно-жидкостная смесь помещаются в контейнер 1 (рис. 1), которому сообщаются колебательные движения (показаны стрелками) с помощью специального вибратора, на рисунке - вращающийся от отдельного привода вал 7 с неуравновешенным грузом 8. Контейнер соединен с жесткой рамой 9 через пружины 6 и 10. В контейнер по шлангу 2 подается жидкость из бака 4 с помощью насоса 3; слив из контейнера происходит по шлангу 5.

При проскальзывании по поверхности лопатки абразивные гранулы снимают мельчайшие частицы металла, при микроударах происходит частичное вдавливание металла и местное упрочнение [0; 0; 0] в местах контакта абразивных зерен с поверхностью лопатки.

В качестве наполнителя применяют:

➤ бой абразивных кругов на керамической связке, которые получают дроблением абразивных кругов или других материалов;

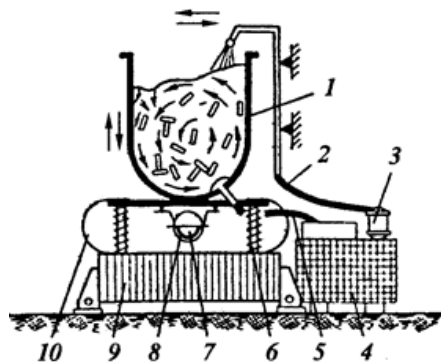


Рис.1. Схема виброабразивной обработки

бой фарфора или фарфоровые шарики;

- бой шарошлифовальных кругов;
- деревянные кубики, обрезки кожи и войлока;
- стальные закаленные шарики;
- стеклянные шарики;
- формованные абразивные гранулы (уралит и др.);
- шлифпорошок применяется при виброшлифовании очень мелких лопаток, а также при виброполировании с мягкими пористыми наполнителями типа войлочных пыжей [0;0].

В зависимости от требований к выполняемым операциям виброустановки применяются для виброшлифования, виброполирования, очистки лопаток от нагара, коррозии, окалины, притупления острых кромок и снятия заусенцев.

В результате широкого применения виброабразивной обработки уменьшена доля ручного труда на таких операциях как притупление острых кромок и снятие заусенцев. Наблюдается уменьшение шероховатости поверхности, повышены сопротивление усталости и эксплуатационные характеристики лопаток.

3. Ультразвуковая обработка.

Ультразвуковая обработка является одним из основных технологических приемов повышения прочности, надежности и долговечности. Упрочнения шариками лопаток турбины в ультразвуковом поле методом поверхностного пластического деформирования [0; 0; 0; 0; 0] основано на сообщении кинематической энергии рабочим телам при помощи ультразвукового поля, возникающего в замкнутом объеме при возбуждении в нем упругих колебаний ультразвуковой частоты. Лопатки турбины, загруженные в рабочую камеру, подвергаются обработке шариками диаметром 0,4...3 мм из материала ШХ15 или нержавеющей стали. Этот метод позволяет значительно, в десятки раз, повысить производительность и получить благоприятные характеристики поверхностного слоя лопаток газотурбинного двигателя [0].

Оптимальный режим поверхностного пластического деформирования в ультразвуковом поле, обеспечивающий получение заданного из условий эксплуатации детали качества поверхностного слоя, осуществляется регулированием основных параметров процесса:

- энергии и частоты ударов шариков;
- размера и качества применяемых шариков;
- продолжительности процесса упрочнения.

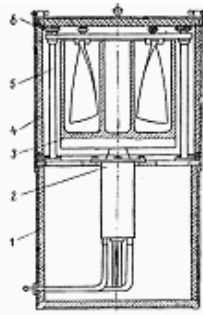


Рис.2. Установка для ультразвукового деформационного упрочнения лопаток: 1 – основание, 2 – ПМС15А-18, 3 – волновод, 4 – шумопоглощающий кожух с крышкой, 5 – штанги, 6 – технологический фланец

Продолжительность обработки в ультразвуковом поле (рис. 2), в зависимости от размеров и геометрии обрабатываемых лопаток турбины, находится в пределах от 20 секунд до 30 минут. Например, оптимальное время обработки лопаток компрессора и турбин: находится в пределах 20 - 45 секунд.

Типовая установка для поверхностного пластического деформирования состоит из ультразвукового генератора, магнитострикционного преобразователя, сменных волноводов, устройства для закрепления магнитострикционного преобразователя, рабочего стола для установки оснастки и обрабатываемых деталей и звукоизолирующего кожуха (рис. 2).

Такая финишная обработка, как ультразвуковое упрочнение, не позволяет в отдельных случаях полностью достигать высоких показателей параметров выносливости. Кроме того, ультразвуковое упрочнение не позволяет решать вопросы обеспечения изменяющихся свойств поверхности лопатки и ориентированной реализации свойств поверхности лопатки в зависимости от величины износа поверхности лопатки [0].

4. Пневмодробеструйная обработка.

Метод пневмодробеструйной обработки эффективно нейтрализует технологические микродефекты поверхностного слоя, образованные на предыдущих стадиях технологического процесса, сопровождается значительным увеличением предела выносливости, снижением рассеяния долговечности и не требует последующей доводки тонких кромок ручным полированием. Глубина наклепа при обдувке дробью не превышает 0,8 мм. Режим обработки определяется скоростью дробы, расходом ее за единицу времени и продолжительностью обдува. Дробеструйной обработке могут подвергаться заготовки из сталей, чугуна и сплавов различной твердости.

Пневмодробеструйная установка (рис. 3) содержит исполнительный механизм типа МЗК-2 для вращения диска с обрабатываемыми лопатками по часовой или против часовой стрелки, пневмосистему 1, дробесборник 2 с соплами 3 для обеспечения заданной скорости и направления полета шариков; специальные диски 4 для крепления лопаток разных типоразмеров; рабочую камеру для размещения диска с лопатками, состоящую из корпуса 5 и сетчатого экрана 6 (расстояние от среза сопла до упрочняемой поверхности должно быть не менее 30 мм) [0].

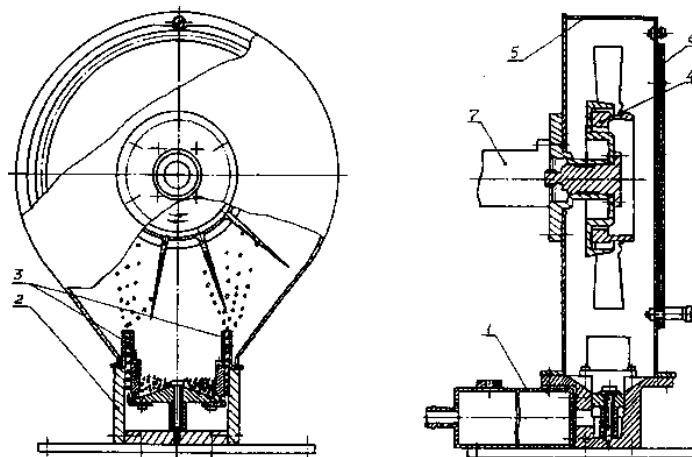


Рис. 3. Установка для пневмодробеструйного упрочнения

Упрочнение лопаток производится шариками из стали ШХ15 твердостью 62...64 HRC диаметром 1,3...1,6 мм по ГОСТ 3722-81. Размеры шариков подобраны исходя из требуемого обеспечения заданной шероховатости, недопущения искажения геометрических параметров пера лопаток [0; 0].

Периодически, через 45 часов непрерывной работы, необходимо производить очистку шариков просеиванием через сито и контроль массы. При этом не допускается применение смеси шариков разных диаметров и из различных материалов.

Основные преимущества данного оборудования: простота конструкции установки, работающей на сжатом воздухе цеха; концентрированный поток дробы; большие скорости полета дробы; простота обращения и отсутствие необходимости промывки лопатки после обработки.

Эффективность принятого способа определяется не только удачно выбранной схемой и режимом силового воздействия на поверхность лопатки, но и стабильностью технологической операции упрочнения в условиях серийного производства. В этих условиях пневмодробеструйное упрочнение имеет определенные преимущества между другими способами поверхностного пластического деформирования.

5. Вывод.

Рассмотрев основные виды отделочно-упрочняющих обработок, которые используются для обработки лопаток турбины, можно сделать следующие выводы:

1. Одним из эффективных методов повышения качества лопаток газотурбинного двигателя являются отделочно-упрочняющие методы обработки.
2. Методы подобного типа дают возможность обрабатывать лопатки различной конфигураций из различных сплавов.
3. Малая трудоёмкость отделочно-упрочняющих методов обработки лопатки представляет определенный интерес для развития авиастроения.

Список литературы: 1. Анділахай О. О. Наукові основи ефективної оздоблювальної абразивної обробки деталей затопленими струменями: Автореферат дис. д-ра техн. наук. - Одеса, 2013. - 47 с. 2. Демин Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев - М.: Машиностроение, 2002. - 328 с. 3. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. / Богуслаев В. А., Яценко В.К., Жеманюк П.Д. и др. - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2005. - 559 с. 4. Технологическое обеспечение эксплуатационных харак-

теристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I. Монография / Богуслаев В. А., Муравченко Ф. М., Жеманюк П. Д и др. - г. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2003 г. - 396 с. **5.** Михайлов Д. М. / технологическое обеспечение повышения работоспособности лопаток компрессора газотурбинного двигателя на основе функционально-ориентированных покрытий - Донецк, 2016 - 215 с. **6.** Бутенко В.И. Структурная самоорганизация материала поверхностного слоя обрабатываемой детали. - Таганрог: ТРТУ, 2000. - 168 с. **25.** **7.** Новоселов Ю. Н. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. - Севастополь: СевНТУ, 2012. - 304 с. **8.** Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др. - Л.: Машиностроение, 1988. - 719 с. **9.** Мосталыгин Г. П. Технология машиностроения / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с. **10.** Обладнання та прогресивні методи формоутворення деталей: Навч. посібник. / Ступницький В. В., Грицай І. Є., Сліпчук А. М. - Львів: Львівська політехніка, 2012. - 340 с. **11.** Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 2002. - 300 с. **12.** Богуслаев В. А., Яценко В. К., Гармаш А. В. Пневмодробеструйное упрочнение лопаток ГТД / Пробл. прочности, 1995 - с. 358. **13.** Богуслаев В. А. Основы технологии машиностроения: Учебн. пособие для студентов машиностр. спец. вузов / В. А. Богуслаев, В. И. Цыпак, В. К. Яценко - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. - 336 с. **14.** Богуслаев В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2006. - 335 с.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ВИБРАЦИИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Чернышев Е.А., Захарченко Н.А. (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

На современном этапе развития машиностроения все более актуальным является разработка виброустойчивых конструкций станков и станочных приспособлений для обеспечения благоприятных условий работы и точности обработки. Поэтому важной научно-технической задачей является исследование условий их возникновения при точении и закономерностей протекания. Этому вопросу посвящены многие фундаментальные труды таких ученых, как Каширин А.И. [1], Жарков И.Г. [2], Амосов И.С., Манжос Г.А. [3], Соколовский А.П. [3, 4], Ильницкий И.И., Кудинов В.А., Подураев В.Н., Бармин Б.П. [5] и др.

Первые работы, посвященные изучению причин возникновения колебаний при резании, относятся к началу XX века (исследования Тейлора, Николсона, Сидзоу Дои, Кюнсле и Кетнера). Одно из первых объяснений причины возникновения вибраций заключалось в том, что при резании скалывание каждого последующего элемента стружки вызывает ритмические колебания. Такое толкование основано на опытах Николсона (обтачивание на малой скорости цилиндрической заготовки). При этом Тейлор [1] говорит о том, что колебания возникают при совпадении частоты скалывания элементов стружки с собственной частотой колебаний обрабатываемой заготовки или реза.

В более поздних работах обоснована неправомочность такого объяснения. В частности, в работе [1] указано, что при очень малых скоростях обработки даже пластичные материалы дают элементную стружку. Поэтому результаты подобных опытов не могут быть перенесены на обработку с практически применяющимися скоростями

резания. Тем более практика показывает, что к вибрациям более склонны пластичные металлы, дающие сливную стружку. Поэтому к 40-м годам XX века формируется мнение о том, что вибрации при резании являются автоколебаниями [1-5].

Согласно работе [1], автоколебаниями являются вибрации, поддерживаемые внутренними силами, возникающими в самом процессе колебания. Примером автоколебательной системы может быть маятник, подвешенный на вращающемся валу. При отсутствии внешней периодической силы он будет совершать незатухающие вибрации. Т.е. в автоколебательной системе соблюдается равенство энергий: сколько энергии за один период колебаний расходуется, столько и поглощается.

Каширин А.И. [1] провел аналогию между трением стружки о переднюю поверхность резца и детали о его заднюю поверхность с вышерассмотренной колебательной системой, где вибрации поддерживаются переменной силой, возникающей в связи с падающей характеристикой силы трения. Он назвал этот эффект первичным возмущением автоколебаний. Также причинами появления и поддержания этих вибраций он считает точение по следу и переменные силы, возникающие при резании от изменения углов резца, происходящего в связи с колебательным движением. Однако опыты Рыжкова Д.И. [6] показали, что вибрации возникают как на интервале падающей характеристики силы резания, так и на интервале возрастающей, что корректирует выводы Каширина А.И.

Иную точку зрения на причину возникновения автоколебаний при резании выдвинул Соколовский А.П. [3, 4]. Он вывел зависимость между радиальной составляющей силы резания ΔP_y и относительными колебаниями инструмента и заготовки, физический смысл которой заключается в следующем: резец врезается в материал с меньшей силой, чем выходит из него. Он объяснил это тем, что инструмент врезается в неупрочненный материал, а выходит по упрочненному. Этим и объясняется появление переменной силы, поддерживающей колебания. Однако в работе [6] подобная точка зрения подвержена сомнению: «...чугун и красная медь практически не упрочняются, однако вибрации при обработке этих металлов могут легко возникать».

Амосов И.С. [3] опытным путем определил, что заготовка при автоколебаниях колеблется с большей амплитудой, чем резец. При этом их движения происходят по замкнутой кривой и смещены по фазе (рис. 1).

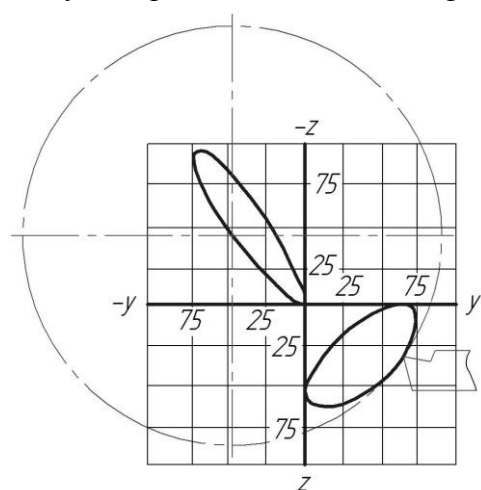


Рис. 1. Траектории движения резца и заготовки при точении с колебаниями [3]

Бармин Б.П. [5] разделил вибрации при резании на две группы: вызванные причинами, связанными с резанием, и вызванные причинами, не связанными с резанием. Он назвал вибрации при точении автоколебаниями, и определил зависимости параметров вибраций при точении и растачивании от режимов резания. По его мнению, рациональной схемой нагружения суппорта, т.е. таковой, при которой жесткость данного узла максимальна, является приведенная на рис. 2.

Бармин Б.П. разработал рекомендации по гашению автоколебаний при точении, в частности применение виброгасителей различных типов, изменение конструкции узлов станка и т.п.

Некоторые авторы как одну из причин возбуждения вибраций называют резание по сле-

ду, т.е. обработку по неровностям, оставшимся от предыдущих проходов или операций. В случае с точением это может быть резание по следу от предыдущего оборота (например, для прорезания). Каширин А.И. [1] определяет точение по следу как вторичное возмущение вибраций.

Во многих работах отдельное внимание уделяется путям демпфирования и разработке конструкций виброгасителей. Большое внимание гашению колебаний уделяется в работе Рыжкова Д.И. [24]. Он провел серию экспериментов по изучению автоколебаний при продольном точении. Не прибегая к теоретическим исследованиям, он эмпирически

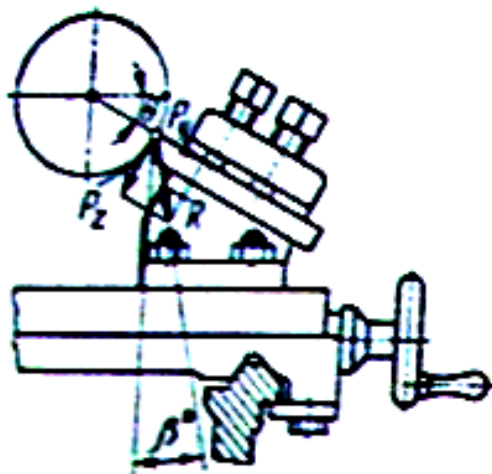


Рис. 2. Схема рационального нагружения суппорта

XX века. Большинство работ за последние 40 лет посвящены изучению динамики станков и разработке оптимальных противовибрационных конструкций отдельных узлов.

Рыжов Э.В., Панов Н.Н. и Смирнов А.А. [26] исследовали вопросы жесткости расточных и токарных станков при растачивании. Изучили влияние жесткости на вибрации при вышеуказанном виде обработки. Согласно экспериментальным данным Панова Н.Н., при уменьшении жесткости расточных скалок от $l/d=5$ до $l/d=7$ автоколебания переходят от гармонических к релаксационным. Поэтому при отношении длины к диаметру скалок до 5 (включительно) частота возникающих вибраций не зависит от скорости резания, а при отношении 7 и более проявляется устойчивая зависимость. Математически возможность такого перехода была показана Ван-дер-Подем. Панов Н.Н. вывел безразмерную величину ε , зависящую от параметров резания, значение которой определяет вид автоколебаний:

$$\varepsilon = \left(\frac{aB}{V} - h_c \right) \sqrt{\frac{1}{m(k+r)}}$$

где a - положительный коэффициент, B - ширина резания, V - скорость резания, h_c - коэффициент линейного сопротивления, m - масса системы, k - жесткость системы, r - коэффициент частоты вибраций.

Из вышесказанного Панов Н.Н. сделал следующие выводы: «Для случая вибраций при резании переход к релаксационным автоколебаниям возможен за счет увеличения ширины резания, уменьшения скорости резания, уменьшения сопротивления в системе, уменьшения массы, уменьшения жесткости и т.д.»

рически выявил закономерности протекания колебаний в зоне резания (как линейных, так и крутильных), в частности, влияние углов инструмента, режимов резания, трения и дополнительного трения на интенсивность вибраций. Разработал рекомендации по устранению колебаний системы деталь-суппорт за счет выбора оптимальной геометрии, путем применения второго диаметрально противоположного инструмента, изменения режимов резания, массы детали и жесткости системы СПИД, а также с помощью виброгасителей различных видов.

Современные представления о вибрациях при резании практически не отличаются от сформированных в середине

Несмотря на то, что изучению вибраций при резании посвящено достаточно большое количество работ, нет однозначного ответа на такие вопросы, как какова причина возникновения автоколебаний при резании, или почему частота возникающих при точении вибраций близка к собственной частоте резца или заготовки. На современном этапе все более актуальным становится рассмотрение процесса резания со стороны пластических деформаций. В этом направлении особого внимания заслуживают работы Воронцова А.Л., которые, опираясь на новую теорию резания, находящуюся в соответствии с механикой деформируемого твердого тела, возможно, способны дать новый толчок исследованию причин и закономерностей такого сложного физического процесса, как автоколебания при резании.

Список литературы: **1.** Каширин А. И. Исследование вибраций при резании металла / А. И. Каширин. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1944. – 133 с. **2.** Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1986. – 184 с.: ил. **3.** Точность механической обработки и пути ее повышения/под ред. А.П. Соколовского. – Москва (Ленинград): Машгиз, 1951. – 487 с. **4.** Соколовский А.П. Жесткость в технологии машиностроения. – М.-Л.: Машгиз, 1946. – 206 с. **5.** Бармин Б.П. Вибрации и режимы резания/Б.П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1972. – 71 с. **6.** Рыжков Д.И. Вибрации при резании металлов и методы их устранения. – М., Машгиз, 1961. – 172 с. **7.** Жесткость, точность и вибрации при механической обработке/под ред. В.А. Скаргана. – М.-Л., Машгиз, 1956. – 194 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Глущенко Д.А., Лахин А.М., Горобец И.А.**
СТАНОК С ЧПУ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ РАБОТ. 3
- Лысенко Н.М., Потапов В.Г., Лавров О. О.**
УСТАНОВЛЕНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА, ВСТРАИВАЕМОГО В ЗАБОЙНЫЕ ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ТИПА 1ГШ68 7
- Мамолат А.Г., Полтавец В.В.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА РФ-202М С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATLAB SIMSCAPE 14
- Андреев Э.В., Гаврилова А.С, Цокур В.П.**
ПРОГРАМИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ С КОЛЕСАМИ МЕКАНУМ 18

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Тоса А., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.**
PARTICULARITIES OF THE TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL STRUCTURES WHEN PROCESSING ON MACHINING CENTERS 23

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

- Гребенюк А., Скорикова А.О., Корецкая И. Н.**
О ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЯХ С ДРУГИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ 29
- Крапивин А. С., Гайдарь О.Г.**
РЕНДЕРИНГ МОДЕЛИ СОЗДАННОЙ В КОМПАС-3D 32
- Луцик М. М., Бляшко Д. С., Буленков Е. А.**
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИХВАТА В ОБЛАЧНОЙ САПР 36
- Скляр Д.Р., Скорикова А.О., Корецкая И. Н.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ ДЕТАЛЕЙ 38
- Тяпков Н. Р., Бляшко Д. С., Буленков Е. А.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САПР 40

**ПРОГРЕССИВНЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- Горобец И.А., Голубов Н.В., Лахин А.М., Киселица Д.О., Жарких Д.С.**
МЕТОДЫ И ПРИМЕНИМОСТЬ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИ-
НОСТРОЕНИИ 43
- Кравченко В. С., Михайлов А.Н.**
БЛОК СХЕМА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАБОТКИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ 50
- Лебедев В.А., Кукаркин И.Д.**
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА НА КАЧЕСТВО ВИБРАЦИОННЫХ МЕ-
ХАНОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ 53
- Шпилевский Э.М., Филатов С.А.**
ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ ПЛЕНКИ И ПОКРЫТИЯ 59

ПРОЦЕССЫ РЕЗАНИЯ

- Бутенко В.И., Лютая А.А.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛАСИ-
НОК ИЗ ТВЁРДОГО СПЛАВА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ
СТАЛИ 110Г13Л 64
- Чайкин И. В., Михайлов А. Н.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ
ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК 69
- Чернышев Е.А., Захарченко Н.А.**
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ВИБРАЦИИ ПРИ ТОЧЕНИИ 73

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм**. Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов**. См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....

..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР.

Тел. (+38 062) 305-01-04, (+38 062) 301-08-05; факс - (+38 062) 305-01-04;

E-mail: tm@fimm.donntu.org или mntk21@mail.ru http: // <http://tm.donntu.org>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. (+38 062) 305-01-04.

Зам. председателя – Т. Г. Ивченко, тел. (+38 062) 301-08-05.

Ученый секретарь – А.М. Лахин, тел. (+38 062) 301-08-05.