

основе географической информационной системы ArcGIS 9.3 с помощью модуля Geostatistical Analyst. В табл.1 представлено сравнение методов интерполяции, используемых в модуле Geostatistical Analyst.

Таблица 1. Сравнение методов интерполяции, используемых в модуле Geostatistical Analyst

Метод	Детерминистский/ Стохастический	Типы результатирующих поверхностей	Время вычислений	Жесткий интерполя тор, время моделирования	Преимущества	Недостатки	Ограничения
Метод взвешенных расстояний	Детерминистский	Проинтерполированные значения	Быстрый	Быстрый	Решения для меньшего числа параметров	Нет оценки ошибки интерполяции;	
Метод глобального полинома	Детерминистский	Проинтерполированные значения	Быстрый	Быстрый	Решения для меньшего числа параметров	Поверхность может быть слишком сглаженной	
Метод локальных полиномов	Детерминистский	Проинтерполированные значения	Умеренно быстрый	Средний	Решения для большего числа параметров	Интерполяция может быть слишком автоматической	
Радиальные базисные функции	Детерминистский	Проинтерполированные значения	Умеренно быстрый	Средний	Гибкий, возможен автоматический выбор параметров	Интерполяция может быть слишком автоматической	
Крикинг	Стохастический	Проинтерполированные значения	Умеренно быстрый	Относительно медленный	Позволяет оценить пространственную автокорреляцию; можно вычислить стандартные ошибки интерполяции	Требуется принятия многих решений по методам преобразований	Данные должны относиться к стационарному стохастическому процессу
Кокриг	Стохастический	Проинтерполированные значения	Средний	Самый медленный	Позволяет оценить взаимную пространственную корреляцию; гибкий метод	Требуется принятия многих решений по методам преобразований	Данные должны относиться к стационарному стохастическому процессу

Для построения поверхностей мы выбрали метод интерполяции - кригинг. Кригинг - это относительно быстрый метод интерполяции и допускает автокорреляцию пространственных данных. Поскольку кригинг использует статистические модели, он позволяет строить различные карты, включая карты проинтерполированных значений. Гибкость кригинга может потребовать принятия большего, относительно других методов интерполяции, количества решений, но можно воспользоваться и параметрами, предлагаемыми по умолчанию.

На основе анализа мониторинговых данных о вкладе различных предприятий в загрязнение атмосферы города Воронеж источником загрязнения был выбран левый берег города Воронежа район Машмет. В работе для расчетов использовались только четыре элемента: PL, CO, SO₂, NO₂, имеющих наибольшие концентрации в атмосфере [1]. При моделировании оценки загрязнения атмосферы города промышленными выбросами задавались метеорологические параметры (скорость и направление ветра, температура окружающего воздуха), измеренные на стационарных постах, так же использовались данные о количестве выбросов загрязняющих веществ, зафиксированных системами непрерывного контроля и учета выбросов. Расчеты зон распространения и накопления примесей загрязняющих веществ в окружающей среде основаны на статистической обработке данных, взятых за период с 2006 – 2008 год.

Таблица 2. Статистические данные средней концентрации примесей загрязняющих веществ (PL, CO, SO₂, NO₂) и гидродинамического режима архивной выборки с гидрометеорологических постов города Воронеж за 2006 – 2008 год для построения модели

Показатели	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Концентрация, мг/м ³	1,286	1,287	3,101	0,1	0,347
Скорость ветра, м/с	1	1	2	3	3
Атмосферное давление, мм. рт. ст	750	750	749	750	749
Количество облаков	9	8	9	10	10
Влажность, %	87	87	89	90	89
Температура, °C	13	13	11	9	10

Атмосфера имеет такое свойство как самоочищение. При этом большую роль играет интенсивность осадков. Анализ результатов наблюдений показал, что повышение концентрации пыли и сернистого газа редко наблюдаются после дождя, а удаление их из атмосферы в большой степени зависит от интенсивности и количества выпавших осадков. Концентрация диоксида азота уменьшается при выпадении осадков, а озон и другие окислители в летнее время после дождя исчезают из атмосферы почти полностью. Отсюда следует, что при изучении условий формирования среднего уровня загрязнения воздуха, надо учитывать интенсивность и количество осадков. В табл.1. приведены показатели средней концентрации примесей загрязняющих веществ и гидродинамического режима, по которым моделировались метеорологические условия, влияющие на самоочищение атмосферы при распространении и накоплении примесей 4-х компонентов в воздухе при выбросе от промышленных предприятий район Машмет Левобережный район города Воронеж. Контрольная точка для измерения концентрации загрязняющих примесей –

гидрометеорологический пост на ул. Д.И.Менделеева район Машмет. На рис.1 приведен пример модели возможного загрязнения атмосферы на территории города Воронежа.



Рис.1. Модель. Метеорологические условия, влияющие на самоочищение атмосферы от примесей загрязняющих веществ в воздухе. Метеорологические условия: пасмурно, осадки; атмосферное давление 740 – 770 мм. рт. ст.; ветер Южный, Юго-Восточный, скорость ветра 0- 5 м/ с. Обозначение: светлым цветом – концентрация близкая к ПДК; темный цветом – концентрация больше ПДК

Таким образом, с помощью географической информационной системы ArcGIS 9.3 модуля Geostatistical Analyst построены электронные карты, учитывающие влияние осадков на самоочищение атмосферы, с помощью которых можно определить ожидаемую концентрацию загрязняющих веществ, таких как PL (пыль), CO, SO₂, NO₂.

Список литературы: 1. Артемьев А.С., Долженкова В.В., Звягинцева А.В. Применение геоинформационного моделирования для оценки загрязнения окружающей среды промышленными выбросами объектов техносферы/ Материалы двенадцатого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы»: Донецк: ДонНТУ, 2011. Т.2. С. 136-140. 2. Корчагин Д.В. Моделирование распространения примесей от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в атмосфере г. Липецка / Д.В. Корчагин // ArcReview №4 (31). – М.: ООО «Дата+», 2004. – С. 5.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

Барковская Д.В., Беломыльцева С.С., Звягинцева А.В.

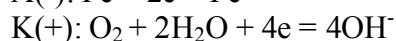
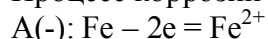
(Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия)

На территории России ежегодно происходит более 20 тысяч официально зарегистрированных аварий, сопровождающихся значительными разливами нефти. Объемы среднего разлива нефти и нефтепродуктов колеблются от 3 до 20 кубических метров. Из анализа литературных данных следует, что проблема повышения безопасности на нефтепроводах остается актуальной [1, 2]. Нефтегазоносный комплекс представляет объекты повышенного экологического риска, который возникает в результате аварий на техногенных объектах. Анализ статистики аварий трубопроводов по причинам свидетельствует о доминирующей роли коррозии, что переносит главный фактор экологического риска и возможного ущерба на период эксплуатации проведен в работе [3]. Цель данной работы: разработка мероприятий по повышению безопасности при добыче нефти из скважин, хранении её в ёмкостях и цистернах и транспортировке в нефтепроводах на Волжско-Уральском нефтегазодобывающем комплексе. Один из аспектов, повышающий безопасность эксплуатации нефтескважин, ёмкостей и нефтепровода на исследуемом объекте, рассмотренный в работе - определение скорости коррозии трубной стали в модельных растворах, имитирующих пластовую воду в нефти. Нефть Поволжья содержит 7—11% парафина, 12—20% смол, значительный процент легких углеводородов и отличается повышенным содержанием серы 3—3,5%. Пластовые воды нефтяных месторождений высоко минерализованная среда с содержанием солей до 300 г/л являются коррозионным агентом. Минерализация воды вызывает повышенное коррозионное разрушение труб, резервуаров; твердые частицы, поступающие с потоком нефти из скважины, вызывают износ трубопроводов и оборудования. Наиболее распространенной (91%) является внутренняя коррозия, 71% из которой составляет канавочная коррозия. Скорость канавочного разрушения достигает 2...3 мм/год, а в отдельных случаях до 18 мм/год, приводя тем самым к частым порывам трубопроводов, снижая гарантийный срок их эксплуатации. Частые порывы трубопроводов, вызванные «канавочным» износом (внутренним износом), требует поиска новых технических решений, направленных на обеспечение их безопасной эксплуатации, повышение долговечности и стабильности функционирования.

Коррозионные испытания проводили в растворе, имитирующим пластовую воду, в состав которого входил хлорид натрия (40 мг/дм^3) и сульфата натрия (10 мг/дм^3) при общей минерализации 50 мг/дм^3 . Водородный показатель (pH) пластовой воды – 7,1-7,2. В качестве исследуемого материала использовали сталь 40Х (С 0,36-0,44. Методика эксперимента описана в работе [3]. Микроструктуру образцов изучали на сканирующем электронном микроскопе.

Результаты поляризационных потенциодинамических E-i кривые, полученные на стали в 3%-ном растворе NaCl и в пластовой воде показали, что с большей скоростью процесс ионизации железа (основной компонент стали) происходит в 3% растворе NaCl, чем в пластовой воде. Например, при E=-0,3 В плотность тока $i = 1,8 \text{ мА/см}^2$ для раствора NaCl, и $0,2 \text{ мА/см}^2$ – для пластовой воды, что очевидно связано с активирующим действием Cl⁻ - ионов (с их повышенной концентрацией в растворе

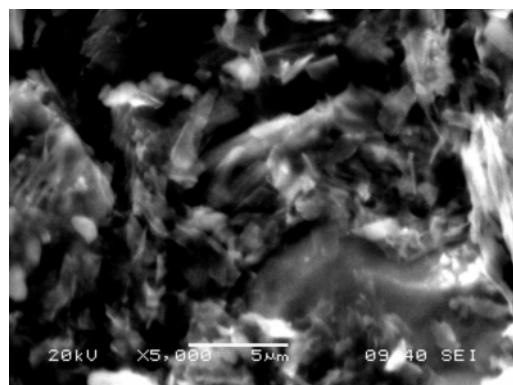
NaCl), которые активнее разрушают оксидную пленку на поверхности железа. Процесс коррозии железа в обоих растворах можно представить в виде схемы:



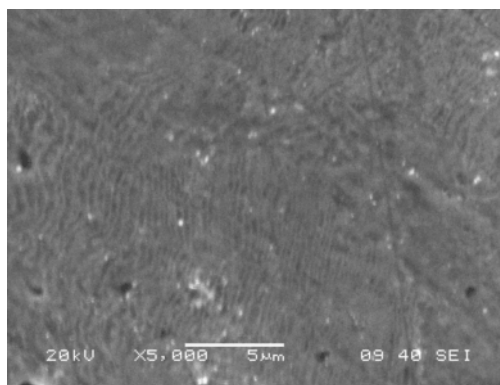
Из данных анодных поляризационных исследований следует, что скорость коррозионного тока $i_{\text{корр.}} = 0,13 \text{ мА/см}^2$ в 3% растворе NaCl, масса растворенного железа в соответствии с законом Фарадея составляет 0,041 мг и при $S = 1 \text{ см}^2$ скорость коррозии $V_{\text{корр.}} = 0,041 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{час}$. Электрохимическими исследованиями в пластовой воде было установлено, что $i_{\text{корр.}} = 0,03 \text{ мА/см}^2$, а скорость коррозии $V_{\text{корр.}} = 0,009 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{час}$. Полученные данные при электрохимических измерениях согласуются с результатами гравиметрических коррозионных испытаний, проведенных при определении потери массы образцов в солевой среде без протектора $V = 0,036 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{час}$ и в пластовой воде $V_{\text{корр}} = 0,0059 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{час}$ (таблица 1).

Таблица 1. Результаты коррозионных испытаний стали 40 х в 3% растворе NaCl и растворе, имитирующем пластовую воду без протектора (96 часов)

Коррозионная среда	Масса образца до испытаний (m_1), г	Масса образца после испытания (m_2), г	Потеря массы образца, Δm , г	Скорость коррозии, $V_{\text{корр}}$ мг/см ² ·час	Скорость коррозии после электрохимических измерений мг/см ² ·час
3% NaCl	9,7086	9,6980	0,0106	0,036	0,041
Пластовая вода	10,0751	10,0698	0,0053	0,0059	0,009
С Mg - протектором					
3% NaCl	11,3504	11,3478	0,0026	0,0019	
Пластовая вода	10,5523	10,5522	0,0001	0,0001	



а

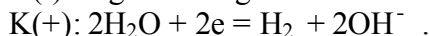
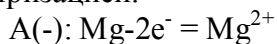


б

Рис.1. Микроструктура поверхности стали 40Х в пластовой воде (а) и поверхности стали 40Х до коррозии (б)

Для защиты стали от коррозии используют протекторы-металлы, чаще всего используют Mg, Al, Zn, которые при контакте с железом являются анодом в образующемся гальваническом элементе, заметно снижают скорость растворения

основного металла. Результаты эксперимента показали, что защитное действие Mg-протектора достаточно эффективно в солевой среде и пластовой воде, но при этом в менее агрессивной пластовой воде Mg-протектор защищает в большей степени. Определенным недостатком Mg-протектора является то, что в процессе работы коррозионной пары A(-) Mg |NaCl, H₂O| Fe K(+), он как более активный металл корродирует с водородной деполяризацией:



В процессе работы этого коррозионного элемента выделяющийся газообразный водород, может накапливаться в нефти и снижать безопасность эксплуатации нефтяных трубопроводов. В результате протекающих вторичных коррозионных процессов возможно образование гидроксида Mg(OH)₂ по реакции: $\text{Mg}^{2+} + 2(\text{OH})^- = \text{Mg}(\text{OH})_2$, который может отлагаться на внутренней поверхности трубопровода.

В таблице 2 показан расчёт экономической эффективности применения протекторной защиты и ингибиторной защиты от коррозии стали 40Х нефтяного трубопровода от коррозии в пластовой воде. Соотношение площади поверхности трубопровода к площади поверхности Mg-протектора - 500:1. Для сравнения приведен расчет экономической эффективности защиты от коррозии ингибитором уротропином традиционно используемого для защиты стали от коррозии. Экономическую эффективность можно рассчитать с учетом литературных данных, средний расход ингибитора нефтяного трубопровода составляет 15 г/тонну [4].

Таблица 2. Экономическая эффективность протекторной и ингибиторной защиты стали 40Х от коррозии в пластовой воде.

Защита: протектор, ингибитор	Потеря массы металла, кг/год	Стоимость потерь металла, руб/год	Экономическая эффективность, руб/год
Mg	228	34200	44300
Zn	140,5	66056	14094
уротропин	60	4700	78800

По результатам исследований можно сделать выводы:

1. В пластовой воде, входящий в состав нефти, наблюдается коррозия стали 40Х с кислородной деполяризацией.

2. В процессе исследований было установлено, что Mg в пластовой воде корродирует с водородной деполяризацией. Выделяющийся водород может накапливаться в нефтепроводе и снижать безопасность эксплуатации.

3. В качестве рекомендации по повышению эффективности защиты стали 40Х нефтяных трубопроводов от внутренней коррозии является использование протекторной защиты с применением Mg в качестве протектора и применение ингибиторов коррозии – уротропина и совершенно очевидно, необходим поиск новых оптимальных решений по защите от коррозии трубопроводов.

Список литературы: 1. Смирнова В.В., Мартынюк В.Ф. Прусенко Б.Е. и др. Анализ причин аварийности, мероприятий по предупреждению опасностей и ликвидации последствий аварий на объектах нефтегазодобычи, на нефтепроводах. Безопасность жизнедеятельности, №7, 2007. С. 33-39. 2. Подъяпольский А.И., Паламарчук Ю.Г., Эпштейн А.Р., Худяков Д.С. Электрохимический метод снижения коррозионного износа внутренней поверхности промысловых трубопроводов. Безопасность жизнедеятельности, 2007. № 6. С.13–18. 3. Д.В. Барковская, А.В. Звягинцева. Особенности проведения инженерно-технических мероприятий по повышению

безопасности при эксплуатации техногенных объектов/Машиностроение и техносфера XXI века// Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции. Донецк: ДонНТУ, 2011. Т.1. с.69 – 75. 4. Топливо и энергетика России. Статистический сборник. – М. – Финансы и статистика. – 2004. – 562с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ ШЛИФОВАНИЯ ГРАНИТА

Горбулин И.А. (*ДонНТУ, г. Донецк, Украина*)¹

Хрупкие, неметаллические материалы – являются, последнее время, незаменимы из-за своих уникальных прочностных и эксплуатационных характеристик, среди которых следует отметить высокую твердость, высокое сопротивление давления при низкой удельной плотности, термостойкость, устойчивость к силовой напряженности и внешнего гидростатического давления. Эти свойства делают хрупкие неметаллические конструкционные материалы наиболее пригодными для применения в условиях агрессивных сред океана и космоса, в строительстве, архитектуре, в авиа и машиностроении. С развитием науки и техники перед современным машиностроением ставится ряд многообразных задач, одна из которых - надежное обеспечение технических характеристик изделий, работающих в широком диапазоне температур, при сложном сочетании переменных силовых и тепловых воздействий, так же в агрессивных рабочих средах. Часто условия эксплуатации изделий таковы, что для их изготовления невозможно или нерационально использовать металлы. В таких случаях задача решается за счет разработки и внедрения неметаллических материалов, а именно камня (гранита).

Важной характеристикой гранита является почти полное отсутствие у него линейного расширения при увеличении температуры [1], что делает его практически идеальным материалом для изготовления контрольно-измерительных устройств или их ответственных частей. Благодаря высокой твердости, термостойкости, стойкости к внешним воздействиям, сохранению своих свойств при различных физических и химических действиях. Из гранита изготавливают станины прецизионных станков для обработки деталей с высокой точностью и качеством рабочих поверхностей.

Основной номенклатурой заготовок машиностроения из природного камня являются: валки для бумажной промышленности (рис.1), катки для бегунов керамической, цементной, фарфорофаянсовой, электротехнической промышленности, заготовки станин прецизионных станков и установок (рис.2), детали траверсных ванн металлургической промышленности, вальцы пищевой и лакокрасочной промышленности, жернова для пищевой промышленности.

Благодаря разнообразию широкое распространение гранит вступил в строительстве и архитектуре. Этот камень используют для облицовки цокольной части зданий и сооружений, колонн и других внешних и внутренних частей зданий и сооружений, блоки - для постаментов при сооружении монументов, а также изготовление надгробных памятников и других видов изделий. Мелкогабаритные блоки пригодные для производства бортового камня размером для садово-парковой

¹ Руководители: Горобец И.А., Голубов Н.В.

архитектуры и ограждения цветников. Плиты часто используют для настила пола в местах с интенсивным движением людских потоков.

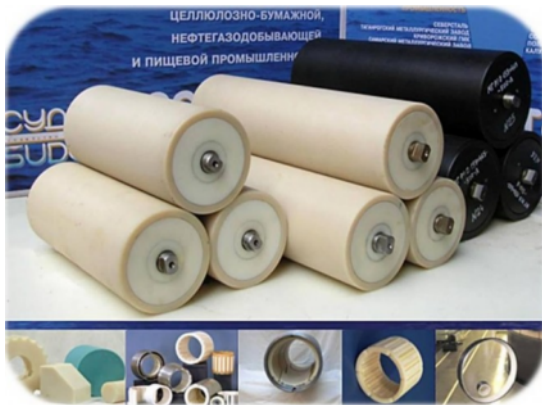


Рис. 1. Валки для бумажной промышленности. Рис. 2. Гранитная станина.

С каждым годом в Украине становится все больше и больше предприятий, которые занимаются обработкой камня или его непосредственной добычей. К таким материалам относятся гранит, базальт, габбро, керамический гранит, поделочные камни и т.д. Блоки камня, полученные на карьере, поступают на камнеобрабатывающие предприятия для переработки на облицовочные изделия. Процесс, в результате которого камню придают требуемую форму, размер и фактуру лицевой поверхности, включает ряд операций, выполняемых в строгой последовательности разнообразными камнеобрабатывающими станками. Одним из наиболее трудоемких видов обработки является шлифование, которое, для достижения необходимой точности, требует огромных затрат по времени, инструменту и оборудованию. Так, например, из [2] известно, что качество поверхности материалов из камня (в частности-керамики) оказывает существенное влияние на их свойства, так же автор утверждает, что направление обработки (продольное или поперечное) может привести к существенной потере прочности изделия (до 30%). Из [3] мы можем лицезреть результаты исследований и практической реализации впервые разработанной автором технологии высокопроизводительного шлифования (5000 - 10000 мм/мин), основанной на использовании сочетания процессов вибрации и прецессии, а одним из наиболее эффективных методов финишной обработки деталей машин сложной конфигурации, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхностей, является вибрационная обработка[4]. Поэтому, для увеличения производительности, а возможно и качества шлифования поверхности природного камня предлагаем применить виброобработку. В качестве устройства для генерации ультразвуковых колебаний, используем магнитострикционный преобразователь ПНС 1-1(рис. 3), который преобразовывает энергию магнитного поля в механическую энергию. Его действие основано на магнитоупругом эффекте, т.е. на том, что некоторые металлы (железо, никель, кобальт) и их сплавы деформируются в магнитном поле.

Технические характеристики данного устройства приведены в таблице 1.



Рис. 3. Магнитострикционный преобразователь ПНС 1-1

Таблица 1. Технические характеристики ПНС 1-1.

Наименование, модель	Назначение	Исполнение	Мощность кВт	Амплитуда мкм	Частота кГц	Габариты мм	Вес, кг
ПМС-1.0/22 с бачком охлаждения	а) размерная обработка твёрдых и хрупких материалов; б) озвучивание жидких сред; в) сварка металлов и пластмасс; г) финишная обработка.	ВО, плоская, распределенная	1.0	15	2	ø67x350	33.0

Для закрепления преобразователя была разработана специальная конструкция (рис.4). На специальную подставку 1, которая устанавливается непосредственно на стол станка, на котором будет производиться обработка, при помощи фланца 3 закрепляем генератор колебаний 2. На верхнюю плиту специального тензометрического стола 4 прикрепляется уголок 5, к другому концу, с помощью шпильки 6 присоединяем генератор.

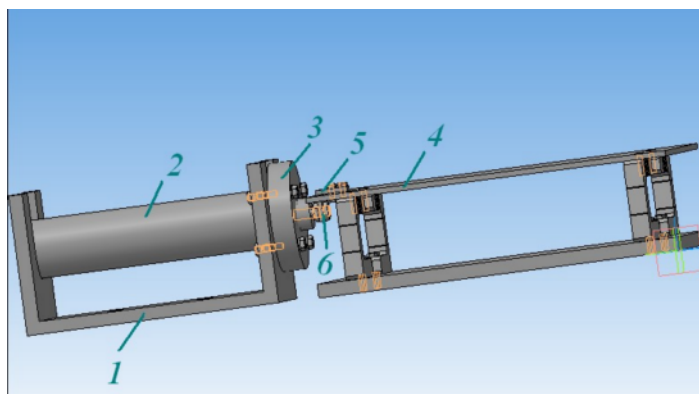


Рис. 4. Соединение генератора колебаний ПНС 1-1 с тензометрическим столом

Опыт экспериментальной установки показал ее достаточную работоспособность для изучения влияния вибраций на производительность процесса шлифования природного камня.

Список литературы: 1. А. М. Орлов Добыча и обработка природного камня. М., 1977 г. 2. А.П.Гаршин В.М.Гропянов Г.П.Зайцев С.С.Семенов Керамика для машиностроения М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2003-384с. 3. А.А. Шепелев [Вибрационно-прецизионное](#) шлифование инструментальных материалов кругами из СТМ. «инструментальный мир» Киев №2 2004г. 4. А.П. Бабичев, И.А.Бабичев. Основы вибрационной технологии. – Ростов н/Д, 1999. – 621 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Лахин А.М., Шпирка А.Г. (*ДонНТУ, г. Донецк, Украина*)

Зубчатые колеса, как элементы силовых передач, в зависимости от служебного назначения, могут работать в различных эксплуатационных условиях. Между тем, проектирование конкретных зубчатых передач, как правило, не учитывает всех реальных условий эксплуатации. В конструкторских и проверочных расчетах зачастую пользуются укрупненными данными. Это связано как с недостатком точной информации о работе проектируемой зубчатой передачи, так и со стремлением максимально снизить затраты по конструкторской и технологической подготовке производства зубчатых колес, что в свою очередь препятствует полной адаптации зубчатые передачи условиям их эксплуатации.

Развитие технологии повышения качества зубчатых колес, главным образом направлены на снижение объема механической обработки за счет совершенствования заготовки, а также повышение производительности производства зубчатых колес путем внедрения современных высокопроизводительных методов обработки, многоинструментальных наладок и использовании многоместных приспособлений при зубонарезании.

При этом не учитывается функциональная направленность конкретных методов технологического воздействия, которые реализовываются в большинстве случаев для зубчатых колес, как для изделия в целом.

Цель данной работы: повышение качества зубчатых колес на основе использования схем технологического воздействия функционально-ориентированных технологий [2].

В соответствии с поставленной целью, необходимо решить следующие **задачи**: выполнить анализ основных элементов зубчатых колес в соответствии с условиями их эксплуатации; разработать структуру эксплуатационных функций и граф функциональных элементов зубчатых колес; предложить схемы технологического воздействия и варианты реализации технологических операций повышения качества зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода.

Согласно особенностям функционально-ориентированного подхода [1], деление любого изделия на функциональные элементы должно осуществляться по уровням глубины технологии: изделие, части, составляющие частей, зоны, макрзоны, микрозоны и нанозоны. Вид элемента по функциональному назначению, определяется на основе классификации. На уровне изделия, зубчатые колеса, как изделия, могут быть кинематические, и силовые. При делении зубчатых колес на части, выделяются исполнительные, связующие, дополнительные и вспомогательные элементы [3].

Исполнительные части в свою очередь, разделяются на рабочие и базирующие. Составляющие частей выделяются по различию служебного назначения в реальных условиях эксплуатации. Зоны, входят в состав составляющих частей, и представляют собой исходные элементы: элементарные поверхности, элементарные объемы, поверхностные линии, объемные линии, поверхности, поверхностные слои и объемные зоны.

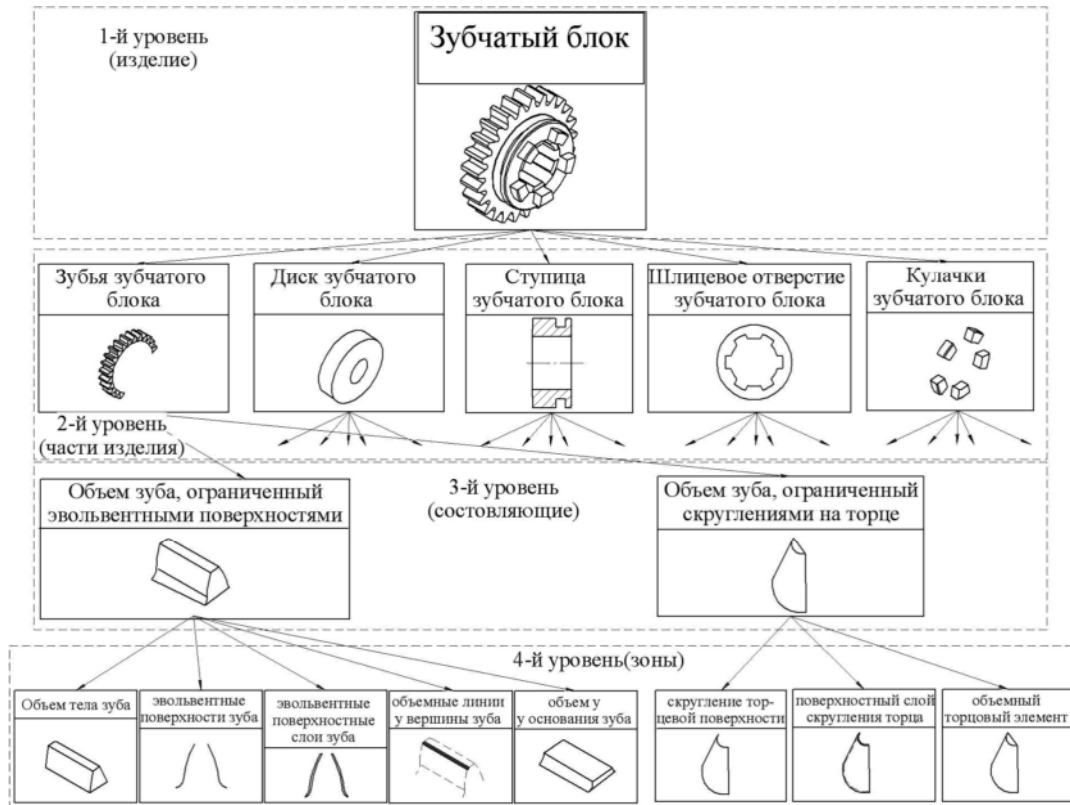


Рис. 1. Граф функциональных элементов зубчатого блока

Деление всех зубчатых колес на функциональные элементы представлено на примере зубчатого блока (рис. 1), в виде графа функциональных элементов. При делении зубчатого блока (1-й уровень) на части, выделяются исполнительные элементы, к которым относятся зубчатый блок, шлицевое отверстие и торцевые кулачки. К связующим элементам относятся диск зубчатого блока и ступица. Вспомогательные и исполнительные элементы являются составляющими перечисленных элементов.

Далее, для зубчатого венца, представлено деление на составляющие (3-й уровень). Зубчатый венец представляет собой совокупность зубьев, каждый из которых состоит из двух составляющих — объема зуба, ограниченный эвольвентными поверхностями, который является рабочим элементом изделия; и объемом, ограниченный скруглением на торце, который в данном случае является вспомогательным элементом.

На четвертом уровне деления, представлено деление составляющих на зоны, образованные на основе исходных элементов. Объем зуба, ограниченный эвольвентными поверхностями, разделяется на объемную зону тела зуба, эвольвентные поверхности зуба, эвольвентные поверхностные слои, объемные линии у вершины зуба, и объем у основания зуба. Каждая зона определена на основе действия в ней

элементарных функций в процессе эксплуатации. Так, эвольвентные поверхностные слои воспринимают контактные напряжения от действия сопряженных зубьев; объемная линия у вершины зуба воспринимает напряжения, вызванные кромочным контактом в зацеплении; объемные зона у основания зуба воспринимает действие напряжений изгиба, возникающих от действия сил в зацеплении; эвольвентные поверхности испытывают трение от сопряженных зубьев, при взаимном скольжении профилей; объем тела зуба служит связующим элементов всех остальных зон.

Зонами объема зуба, ограниченного скруглениями на торце, являются поверхности и поверхностные слои ограниченные поверхностью округления торца зуба, и объемный торцовый элемент. Назначения данных зон аналогичны для случая объема зуба.

На рис. 2. представлен граф эксплуатационных функций зубчатого блока по уровням деления. Общая эксплуатационная функция зубчатого блока на втором уровне делится на следующие составляющие:

- передача требуемого крутящего момента (f_1);
- обеспечение переключения скоростей за счет вхождения в зацепление с соседними зубчатыми колесами (f_2);
- передача крутящего момента соосному зубчатому блоку за счет вхождения в зацепление торцовых кулачков (f_3);
- осевое перемещение по шлицевому валу для обеспечения возможности переключения скоростей и передачи крутящего момента (f_3).

В данном случае рассмотрены только функции зубчатого блока, связанные с передачей крутящего момента и изменения частоты вращения, непосредственно, от исполнительных элементов к сопряженным с ним деталям.

На третьем уровне представлены эксплуатационные функции передачи крутящего момента: передача крутящего момента по заданному закону; обеспечение изменения частоты вращения от сопряженных зубчатых колес; изменение направления вращения от сопряженных зубчатых колес.

На четвертом уровне рассмотрены конкретные функции зубчатых колес, связанные с выполнением их служебного назначения, и действия эксплуатационных функций на составляющие частей зубчатого блока.

На основании графов функциональных элементов и эксплуатационных функций, производят назначение схем технологического воздействия на базе особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств, в зависимости от особенностей эксплуатации изделия [2].

На рис. 3. представлены некоторые возможные варианты технологических воздействий на функциональную зону зуба зубчатого колеса – объемную линию вершины зуба. При этом технологические воздействия должны назначаться в зависимости от эксплуатационных функций, для обеспечения требуемых свойств элементов зубчатых колес.

Данные схемы технологического воздействия применимы при различных вариантах кромочного контакта, который определяется конкретным видом зубчатого зацепления. Например, при круговом или наклонном зубе, технологическое воздействие будет определяться функциональной зависимостью, характеризующую степень вхождения пары зубьев в зацепление. Свойства объемной линии вершины зуба, должны быть такими, чтобы предотвратить износ рабочих поверхностей зубьев вследствие кромочного контакта, что можно достичь за счет уменьшения твердости

кромки вершины зуба. Это позволит при приработке зубьев пары, за счет небольшой пластической деформации, исключить кромочный контакт в зацеплении.



Рис. 2. Граф эксплуатационных функций зубчатого блока

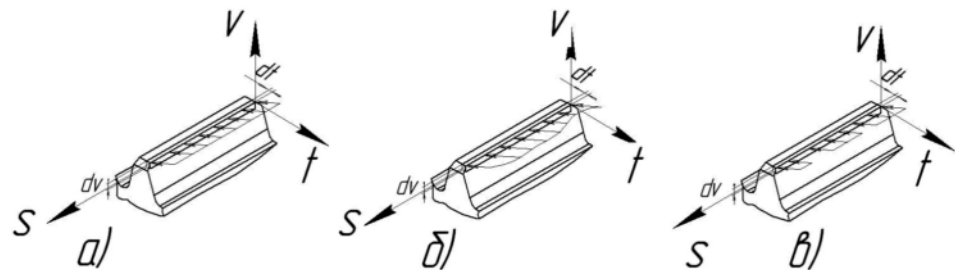


Рис. 3. Варианты технологического воздействия (ТВ) на кромку вершины зуба: а) с постоянными ТВ; б) с изменяющимися по определенному закону ТВ; в) с прерывистыми ТВ.

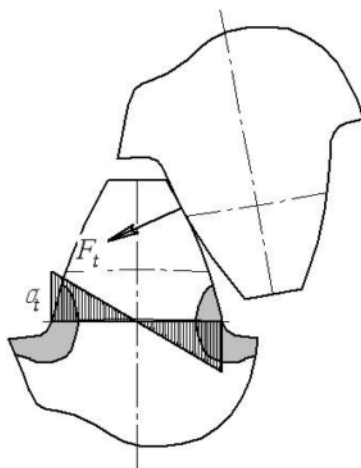


Рис. 4. Эпюра распределения изгибающих напряжений

Для объемной зоны у основания зуба, технологическое воздействие определяется действием напряжений изгиба, которые имеют максимальное значение у основания, и уменьшаться по высоте. Технологическое воздействие, реализующее такое изменение эксплуатационных свойств (рис. 4) можно осуществить закалкой на различную глубину, от вершины к основанию зуба. На рисунке выделением показана термически упрочненная объемная зона зуба, для участка испытывающего изгиб в сечении ножки зуба. При этом видно, что противоположные профили зуба испытывают разнонаправленные напряжения, с одной стороны

напряжение растяжения, с другой – сжатие. Поэтому технологические воздействия должны учитывать разнонаправленность напряжений и реализовывать необходимые свойства.

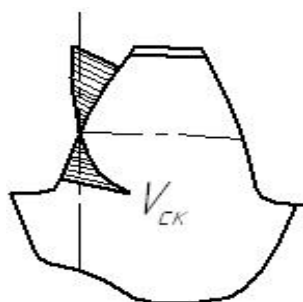


Рис. 5. Распределение взаимного скольжения по зубчатому профилю

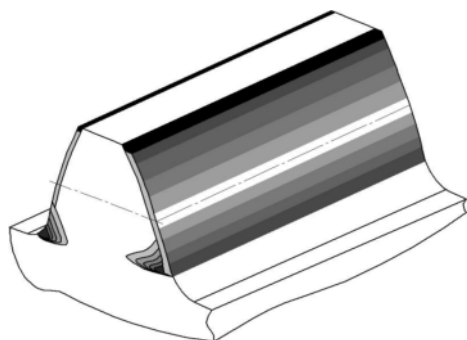


Рис. 6. Элементы зуба с различными свойствами после технологических воздействий

Также, зубчатое зацепление характеризуется абразивным износом рабочих поверхностей зубьев, вызванных взаимным скольжением профилей сопряженных зубьев, которые меняются от нуля, в полюсе зацепления, до максимальных значений у головки и ножки зуба (рис. 5). Особенно, данные эксплуатационные условия, характерны для открытых зубчатых передач, в условиях повышенной запыленности. Снижение данного вида износа можно достичь нанесением антифрикционных покрытий в местах наибольших скольжений зубчатых профилей совместно с повышением прочности рабочих поверхностей зубьев.

Для зубчатых колес используемых для передачи крутящего момента только в одном направлении вращения (неревверсивных), нет необходимости выполнять дополнительные технологические воздействия, требуемые для эксплуатации нерабочего профиля зуба, что позволяет дополнительно снизить себестоимость технологических операций, поскольку вдвое снижается количество технологических воздействий.

Вид рабочих элементов зубчатых колес, свойства которых обеспечены многослойными покрытиями различных функциональных свойств, в зависимости от особенностей эксплуатации, представлено на рис 6. В данном случае, зубчатому колесу обеспечены изменяющие свойства по эвольвентной поверхности (в зависимости от скорости взаимного скольжения) и по объему ножки зуба (для компенсации напряжений изгиба); а также постоянные свойства линии вершины зуба (для снижения износа вследствие кромочного контакта в зацеплении).

Выводы.

Таким образом, в данной работе, выполнен функциональный анализ рабочих элементов зубчатых колес, предложены варианты реализации технологических воздействий на базе функционально-ориентированного подхода. На основе графов функциональных элементов и эксплуатационных функций (на примере зубчатого блока), выполнена классификация элементов зубчатых колес по конструктивным и эксплуатационным признакам. Для рабочих элементов зубчатых колес – линии вершины зуба, рабочих поверхностей и поверхностных слоев зубьев, предложены варианты технологических воздействий в соответствии с особенностями эксплуатации, которые характеризуются возможностью кромочного контакта в зацеплении, действием изгибных и контактных напряжений и взаимным скольжением зубчатых профилей.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. Лахин А.М., Михайлов А.Н. Технологические основы повышения эксплуатационных

свойств рабочих элементов зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода. // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: научно-практический семинар - Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 121-125.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Титова А.В., Звягинцева А.В.

(Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия)

Актуальность темы: тепловые энергоустановки – сложные многофункциональные системы, интегрированные масштабные системы теплоэнергетики, представляют собой объекты повышенной опасности. Технологические опасности возникают в связи с возможностью взрывов, пожаров, коррозионных повреждений. Технические опасности обусловлены параметрами эксплуатации: температурой, давлением, объемом. Для выработки рекомендаций по снижению взрывных нагрузок до безопасного уровня необходимо рассмотреть физические аспекты развития взрывной аварии и математические модели, адекватно описывающие динамику формирования взрывной нагрузки.

Объект исследования или разработки – тепловые энергоустановки ВТРЗ им. Ф.Э. Дзержинского – филиал ОАО «РЖД» (Воронежский орден трудового Красного Знамени тепловозоремонтный завод имени Дзержинского – филиала открытого акционерного общества «Российские железные дороги»). Цель работы – моделирование пожарной безопасности технологических процессов эксплуатации тепловых энергоустановок, работающих на жидком топливе. Любой разработчик и технолог при проектировании и эксплуатации тепловых энергоустановок на объектах экономики должен учитывать концепцию безопасного их функционирования.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 [1] завод относится к IV классу опасности металлургических, машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий. Особо опасными производствами на выбранном объекте являются хранение нефтепродуктов на складе ГСМ, мазутном хозяйстве, а также их использование в производственных цехах предприятия, их характеристики приведены в таблице 1. При попадании замкнутого резервуара с жидкостью в очаг пожара может происходить нагрев содержимого резервуара до температуры, существенно превышающей температуру кипения, с соответствующим повышением давления. За счет нагрева несмоченных стенок сосуда уменьшается предел прочности их материала, в результате при определенных условиях оказывается возможным разрыв резервуара с возникновением волн давления. Для расчета необходимо знать температуру вспышки топлива, массу вещества в резервуаре. Для оценки возможной техногенной обстановки на взрывопожароопасных объектах экономики целесообразно использовать методики изложенные в [2]. Модельная аварийная ситуация предусматривает наиболее опасный сценарий возникновения и развития - пожар в котельной, с последующим взрывом, в резервуаре с жидким топливом которым является мазут и дизельное топливо.

Таблица 1. Эксплуатационные показатели жидкого топлива

	Топливный мазут	Дизельное топливо
Масса, хранящегося на складе, т.	700	60
Периодичность прихода к квартал	1 раз в квартал	3 раза в квартал
Объем емкости для хранения, м ³	2000	73

Параметрами волны давления являются избыточное давление в положительной фазе волны p и безразмерный импульс положительной фазы волны i .

Δp , кПа, и i , Па·с, рассчитывают по формулам:

$$\Delta p = p_0 (0.8 m_{np}^{0.33} / r + 3 m_{np}^{0.6} / r^2 + 5 m_{np} / r^3) \quad (1)$$

$$i = 123 m_{np}^{0.66} / r \quad (2)$$

где p_0 — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); r — расстояние до разрушающегося технологического оборудования, м; m_{np} — приведенная масса, кг, рассчитанная по формуле:

$$m_{np} = E_{из} / Q_0,$$

где $E_{из}$ — энергия, выделяющаяся при энтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж; Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

$E_{из}$, Дж, рассчитывают по формуле:

$$E_{из} = C_{эфф} m (T - T_{всп}).$$

где m — масса вещества в резервуаре, кг; $C_{эфф}$ — константа, равная 500 Дж/(кг·К); T — температура вещества в резервуаре в момент его взрыва, К; $T_{всп}$ — температура вспышки вещества при атмосферном давлении, К.

При наличии в резервуаре предохранительного клапана T , К, допускается рассчитывать по формуле:

$$T = \frac{B}{A - \log p_k} - C_a + 273.15 \quad (3)$$

где A , B , C_a — константы Антуана вещества; p_k — давление срабатывания предохранительного клапана, кПа. Константа A должна соответствовать давлению, выраженному в килопаскалях.

После расчета параметров возможного взрыва на объекте экономики разработчик должен оценить возможную инженерную, медицинскую и пожарную обстановку. Проведем расчет на примере мазута. Масса мазута 700 т, расстояние до хранилища 750 м. Расчет энергии, выделившейся при расширении среды в резервуаре, рассчитывают по формуле:

$$E_{из} = C_{эфф} m (T - T_{всп}), \quad (4)$$

где $m = 70 \cdot 10^4$ кг — масса; $C_{эфф}$ — константа, равная 500 Дж/(кг·К); $T_{всп} = 55 + 273 = 328$ К — температура вспышки мазута при постоянном давлении.

Температуру находим по формуле (3), где $p_k = 2,000$ кПа, $A = 5,949$, $B = 812,648$, $C_a = 247,55$. Отсюда

$$T = \frac{812.648}{5.949 - \log 2.000} - 247.55 + 273.15 = 322 \text{ K}$$

Получим $E_{из}$

$$E_{из} = 70 \cdot 10^4 (332-328) 500 = 1,6 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Находим приведенную массу $m_{пр}$, кг, по формуле:

$$m_{пр} = E_{из} / Q_0, \quad (5)$$

где $E_{из}$ — энергия, выделяющаяся при энтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж; Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

$$m_{пр} = 1,6 \cdot 10^9 / (4,52 \cdot 10^6) = 350 \text{ кг.}$$

Вычислим Δp и i по формулам:

Δp , кПа, и i , Па·с, рассчитывают по формулам (1, 2):

$$\Delta p = 101 (0,8 \cdot 350^{0,33} / 750 + 3 \cdot 350^{0,66} / 750^2 + 5 \cdot 350^3 / 750) = 29 \text{ кПа,}$$

$$i = 123 \cdot 350^{0,66} / 750 = 7,8 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Аналогичный расчет проведен для дизельного топлива. Масса дизтоплива 60 т, расстояние до хранилища 750 м. По полученным данным построили диаграмму (рис. 1 и 2). Из диаграммы видно, что давление и импульс волны давления мазута, превышают давление и импульс волны давления дизельного топлива. При прогнозировании принято выделять четыре зоны разрушений: полных разрушений ($\Delta P_{\phi} \geq 50$ кПа); сильных разрушений ($30 \leq \Delta P_{\phi} < 50$ кПа); средних разрушений ($20 \leq \Delta P_{\phi} < 30$ кПа); слабых разрушений ($10 \leq \Delta P_{\phi} < 20$ кПа).



Рис. 1. Диаграмма соотношения мазута и дизельного топлива



Рис. 2. Модели зон поражения территории объекта: 1 - при взрыве дизельного топлива.; 2 - при взрыве мазута

Полученные результаты и их новизна — проведен сравнительный анализ расчетов параметров волны давления (давления и импульса ударной волны) при взрыве

резервуара с перегретой жидкостью (дизельного топлива и мазута) при воздействии на него очага пожара. Показано, что зоны возможного разрушения на объекте и нанесенный ущерб при взрыве мазута будет больше, чем от взрыва дизельного топлива. В связи с проведенными расчетами можно сделать заключение, необходимо совершенствование инженерно-технических мероприятий для организации условий технологического процесса хранения и использования жидкого топлива, улучшающих пожарную безопасность систем теплоэнергетики, что характерно в принципе для любого объекта экономики.

Список литературы: 1. СанПиН 2.2.1/2.1.10031-01 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, зданий, сооружений и иных объектов». – 41 с. 2. ГОСТ Р 12.3.47-98 «Пожарная безопасность технологических процессов». Приложение Ж: «Метод расчёта параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сниженным газом при воздействии на него очага пожара».

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ВТУЛОК ЗУБЧАТЫХ МУФТ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Шадиев А.Ю., Грубка Р.М., Михайлов А.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Технологический способ обработки зубьев с пространственной геометрией на операциях окончательной обработки и принципиальная схема устройства для его осуществления описаны в работах [6, 7]. В соответствии с предложенным способом обработки и с учетом требований изложенных в работе [5], устройство для обработки зубьев состоит из следующих основных узлов рис. 1. Приводов главного 1 и пространственного 2 движений, станины 3 на которой монтируются все узлы устройства, сборного вала 4 на котором закрепляется заготовка 5, инструмента 6 и кулачка 7.

Привод главного движения предназначен для приведения в движение инструмента и состоит из электродвигателя, коробки скоростей (на рис. 1 не показаны), цилиндрического кулачка 8, с нарезанной на цилиндрической поверхности замкнутой винтовой канавкой, пальца 9, плиты 10, направляющих качения 11, державки 12 в которую вставляется инструмент 6 и оси 13. Привод пространственного движения 2 предназначен для придания продольной оси заготовки пространственного движения по конической поверхности с переменным углом наклона образующей конуса и состоит из электродвигателя, редуктора (на рис. 1 не показаны), планшайбы 14, закрепленной на выходном валу редуктора, направляющих скольжения 15, закрепленных на планшайбе 14. По направляющим 15 перемещается ползун 16, с ползуном связана ось 17 с роликом 18. К боковой стенке ползуна прикручен кронштейн 19 с роликом 20. Ролик 18 связан со сборным валом 4, а ролик 20 посредством пружин 21 прижимается к кулачку 7. Сборный вал опирается на шариковый двухрядный сферический подшипник 22 и ролик 18. Заготовка 5 закрепляется на валу 4 быстросъемной шайбой 23 и гайкой 24. Выведение вала 4 из зацепления с роликом 18 осуществляется откручиванием гайки 25 и снятием втулки 26, после чего стакан 27 перемещается по шпонке 28. На станине 3 закреплен фиксатор 29, фиксирующий заготовку от проворота.

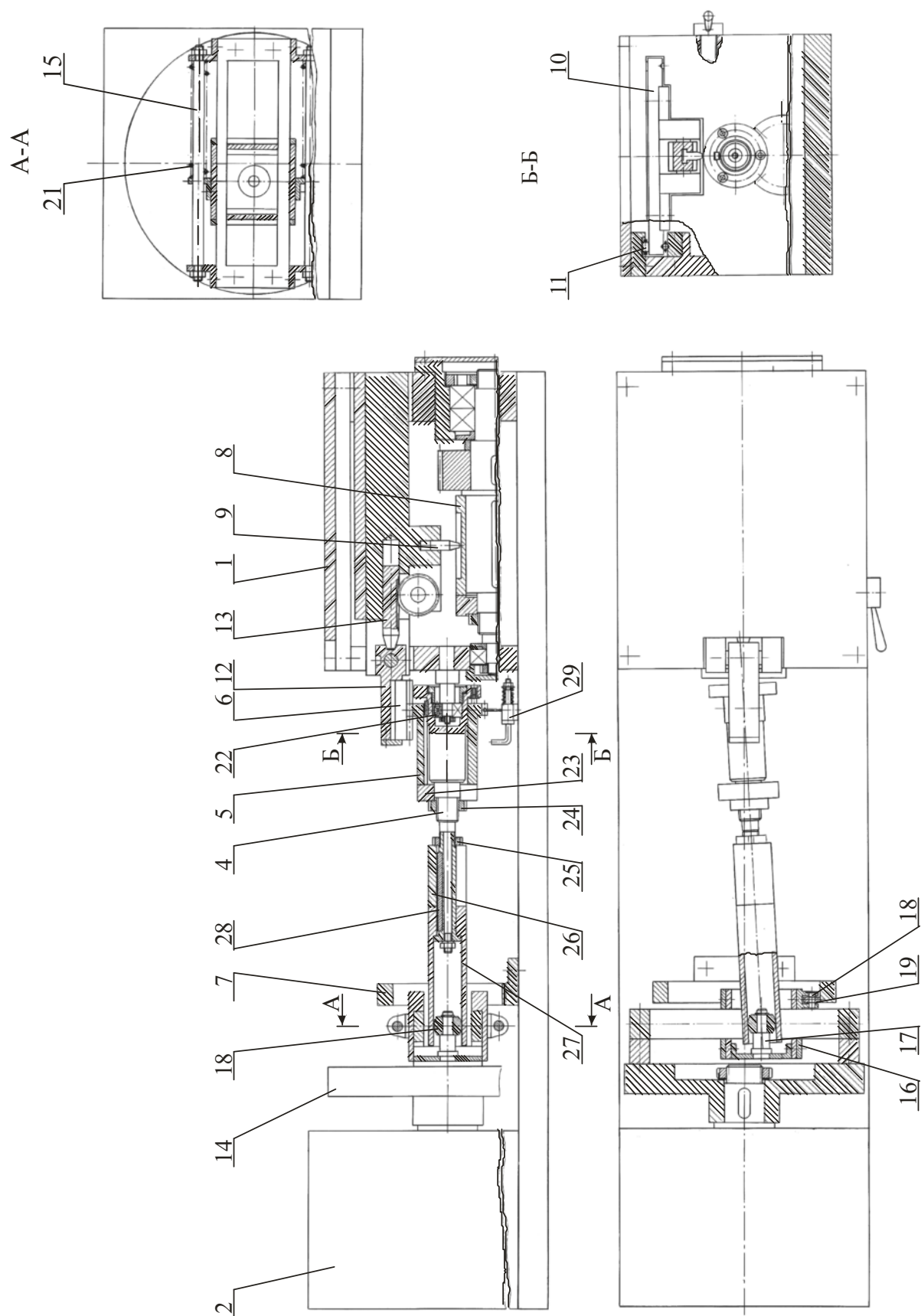


Рис. 1. Общий вид устройства для чистовой обработки зубьев с пространственной геометрией

Устройство работает следующим образом. На вал 4 по шпонке 30 с упором в опоры 31 устанавливают заготовку 5, а затем закрепляют гайкой 24 через быстросъемную шайбу 23. Вал 4 вводится в зацепление с роликом 18, перемещением стакана 27 по шпонке 28. Для фиксации вала в данном положении устанавливают втулку 26 и закручивают круглую гайку 25. Заготовка 5 фиксируется от проворота фиксатором 29. Инструмент 6 устанавливается в державку 12 и закрепляется. Затем поворачивается на оси 13 на 90° , вводится в зацепление с заготовкой 5 и фиксируется стопорным устройством 32. Привод главного движения работает следующим образом: вращение вала электродвигателя преобразуется в возвратно-поступательное перемещение инструмента через коробку скоростей, на выходном валу которой закреплен цилиндрический кулачок 8 с нарезанным на его цилиндрической части замкнутой винтовой канавкой. В зацепление с цилиндрическим кулачком 8 входит палец 9, который связан с плитой 10, установленной на направляющих качения 11. В процессе обработки инструмент 6, связанный с плитой 10 посредством оси 13 и державки 12, совершает возвратно-поступательное перемещение.

Крутящий момент с вала электродвигателя пространственного движения 2 передается через редуктор на планшайбу 14 с направляющими скольжения 15. По направляющим скольжения перемещается ползун 16 с осью 17 и роликом 18. Перемещение ползуна 16 ограничивается кулачком 7 к которому с помощью пружин 21 поджимается ролик 20, закрепленный на кронштейне 19. При вращении планшайбы 14, за счет геометрии профиля кулачка 7 ползун 16 перемещается по направляющим скольжения 15, при этом продольная ось заготовки 5 в процессе обработки описывает в пространстве коническую поверхность с переменным углом наклона образующей конуса, вершина которой находится на оси симметрии шарикового двухрядного сферического подшипника 22.

Движение резания взаимосвязано с пространственным движением таким образом, что в процессе обработки заготовка проходит в пространстве все положения, соответствующие текущим значениям угла перекося соединения ω_i , входящим в заданный интервал значений.

После обработки одной впадины зуба инструмент 6 выводится из зацепления с заготовкой, отводят фиксатор 29, после чего заготовку поворачивают на один угловой шаг и снова вводят фиксатор. Для продолжения обработки вводят инструмент 6 в контакт следующей впадиной зуба. После обработки всех зубьев зубчатой втулки сборный вал 4 выводят из зацепления с роликом 18, перемещая стакан 27 по шпонке 28. Для чего откручивают круглую гайку 25 и снимают втулку 26. Затем снимают заготовку 5, откручивая гайку 24 и снимая быстросъемную шайбу 23.

Таким образом, разработано устройство для формообразования зубьев с пространственной геометрией на операциях окончательной обработки, которое позволяет получить на боковой поверхности зуба втулки специальную пространственную геометрию, способную компенсировать изменяющиеся в заданных пределах погрешности монтажа валов.

Список литературы: 1. Айрапетов Э.Л., Миржаджанов Д. Б. Зубчатые соединительные муфты.- М.:Наука, 1991. - 250 с. 2. Синтез структуры групповой пространственной геометрии зубьев втулок зубчатых муфт / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2004. — Вып. 27. — С. 71-75. 3. Пат. № 68689 Украины, F16D3/18. Зубчаста муфта: О.М.

Михайлов, Р.М. Грубка (Україна). — № 2003098808; Заявл. 29.09.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8. — 4 с. 4. Производство зубчатых колёс: Справочник. Под ред. Д-ра техн. Наук проф. Б.А. Тайца, - М.: Машиностроение, 1990, - 463 с. 5. Особенности технологии изготовления зубьев втулок зубчатых муфт с групповой пространственной геометрией / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы седьмого Международного научно-практического семинара в г. Таганроге 19–21 июня 2006 г. В 3 кн. — Таганрог: ТРТУ, 2006. — Кн. 3. — С. 86-90. 6. Способ чистовой обработки зубьев втулок зубчатых муфт с групповой пространственной геометрией и устройство для его осуществления / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов, С.И. Коштовный // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. — Донецьк: Донец. нац. техн. ун-т, 2006. — Вип. 31. — С. 83-90. 7. Пат. № 82357 України, В23F 19/00. Спосіб обробки зубів із просторовою модифікацією: О.М. Михайлов, Р.М. Грубка, О.М. Лахін (Україна). — № а200510006; Подано 24.10.2005; Опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7. — 4 с.

ДІЮЧИЙ ВЕРСТАТ-СТЕНД ДЛЯ ОБРОБКИ ГЛУХИХ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ОТВОРІВ

Савицький С.О.

(каф. «Конструювання верстатів та машин», НТУУ «КПІ», Київ, Україна)

У наш час стрімкого розвитку науки про різання металів та способів їх різання все більше уваги приділяється новим прогресивним методам обробки, що веде за собою пошук способів зниження вартості завдяки простоті обладнання та зміні способів обробки. Одною з проблем, які слід вирішити, є проблема вибору та реалізації способів обробки складних полігональних поверхонь. В статті розглянутий один з найдешевших та простих способів обробки таких поверхонь, як внутрішніх, так і зовнішніх.

Таким способом є спосіб налагоджених кінематичних ланцюгів.

Суть способу обробки полігональних отворів [4, 5] полягає в наступному. Заготовка 1 (рис. 1, а) з попередньо обробленим круглим отвором діаметром D обертається навколо своєї осі з постійною кутовою швидкістю ω_z .

Інструмент 2 типу зенкера радіусом обертається навколо своєї осі з постійною кутовою швидкістю ω_r та навколо осі заготовки з кутовою швидкістю ω_e причому вказані швидкості інструменту і заготовки зв'язані жорстким кінематичним співвідношенням, що залежить від числа граней оброблюваного отвору. Осі інструменту і заготовки паралельні і розташовані на відстані e (міжосьова відстань) одна від одної. Подача s інструменту здійснюється вздовж його осі. В результаті полігональний отвір формується у виді сліду замкненої циклоїдальної кривої - гіпоциклоїди.

Відповідно до способу (рис. 1, а) вісь обертового інструменту 2 зміщена щодо осі оброблюваного отвору заготовки 1 на величину:

- при парному числі n граней отвору

$$e_m = \frac{D}{2} \left(\sec \frac{90^\circ}{n-1} - 1 \right) \quad (1)$$

- при непарному числі m граней отвору

$$e_m = \frac{D}{2} \left(1 - \sec \frac{180^\circ}{m} \right) \quad (2)$$

де D – діаметр вписаного в отвір багатогранника кола.

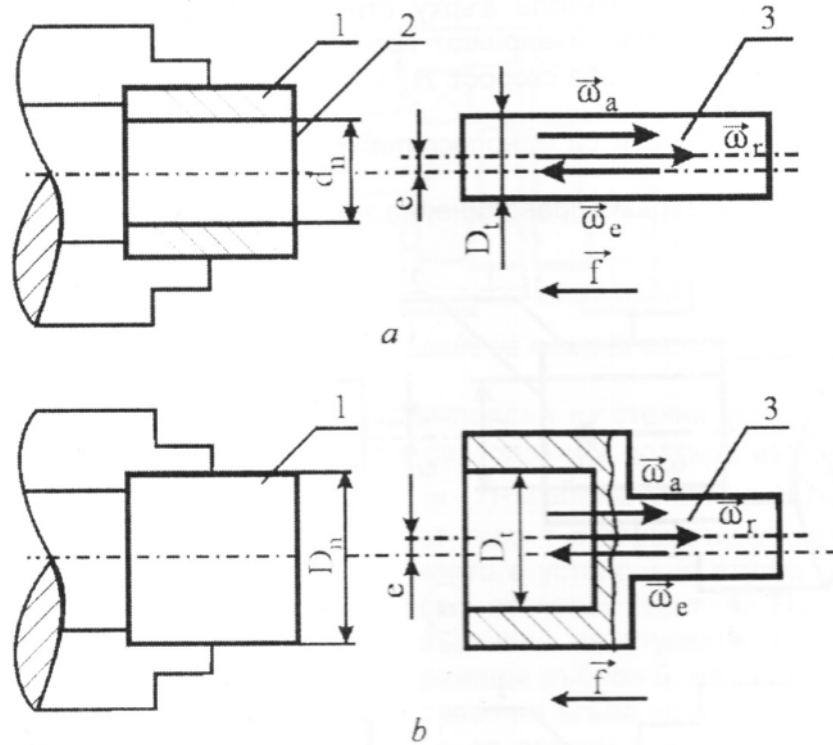


Рис. 1. Способи обробки полігональних отворів (а) за а.с. НРБ №47221 і зовнішніх поверхонь (б) за патентом України №40164А

При нерухомій заготовці ($\omega_3=0$) абсолютна кутова швидкість інструмента

$$\vec{\omega}_a = \vec{\omega}_r + \vec{\omega}_e \quad (3)$$

а відношення при кількості граней n

$$\frac{\omega_e}{\omega_r} = \frac{n-1}{n} \quad (4)$$

При рухомій заготовці ($\omega_3 \neq 0$)

$$\vec{\omega}_a = \vec{\omega}_r + \vec{\omega}_e + \vec{\omega}_3 \quad (5)$$

При парному числі m граней отвору кількість протилежно розташованих зубів інструменту дорівнює $z=2$, а діаметр описаного кола

$$d = D \left(\sec \frac{180^\circ}{m} + 1 \right) \quad (6)$$

Практична реалізація способу налагоджених кінематичних ланцюгів була розроблена к.т.н. Самойленко О.В. (НТУУ «КПІ») у вигляді пристрою встановлюваному, на токарний верстат.

На кафедрі «Конструювання верстатів та машин» НТУУ «КПІ» у рамках студентського конструкторського бюро «Верстат» сконструйовано та складено верстат-стенд для обробки полігональних поверхонь, кінематична схема якого показана на рис. 2, а загальний вигляд на рис. 3. Інструментальний шпиндель у вигляді модуля був

виготовлений на заводі «Фіолент» (м. Сімферополь) за розробками кафедри. Робочий шпиндель був узятий від верстата для обточування кристалів алмазів мод. ШП-6.

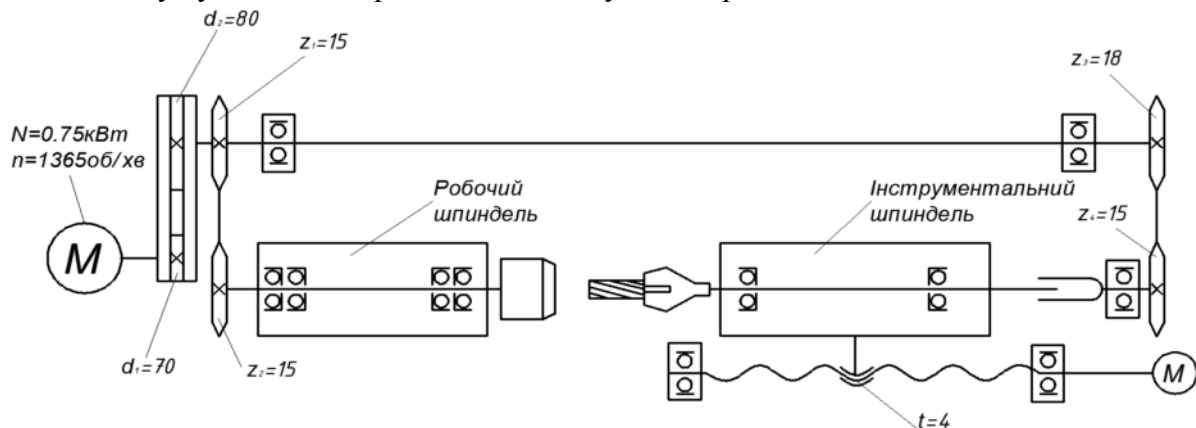


Рис. 2. Кінематична схема верстата-стенда для обробки полігональних отворів

Розглянемо кінематику верстата (рис. 2). Обидва шпинделя (для заготовки та інструментальний) жорстко кінематично зв'язані для забезпечення необхідної відносної частоти обертання заготовки та ріжучого інструмента. Шпиндель для заготовки нерухомий, а інструментальний - рухомий вздовж своєї та осі шпинделя для заготовки, для забезпечення осьової подачі при різанні, ходовий гвинт має ручний привід, але в майбутньому він буде механізований з використанням системи ЧПК. Для виготовлення деталей з полігональними отворами з різною кількістю граней та різними розмірами отворів верстат-стенд може бути укомплектований різними комплектами зірочок для ланцюгової передачі з основного розподільчого валу на інструментальний шпиндель, який в свою чергу може налаштовуватися на різний ексцентриситет відносно головного шпинделя. Для обмеження осьового переміщення може бути передбачений регульований упор.

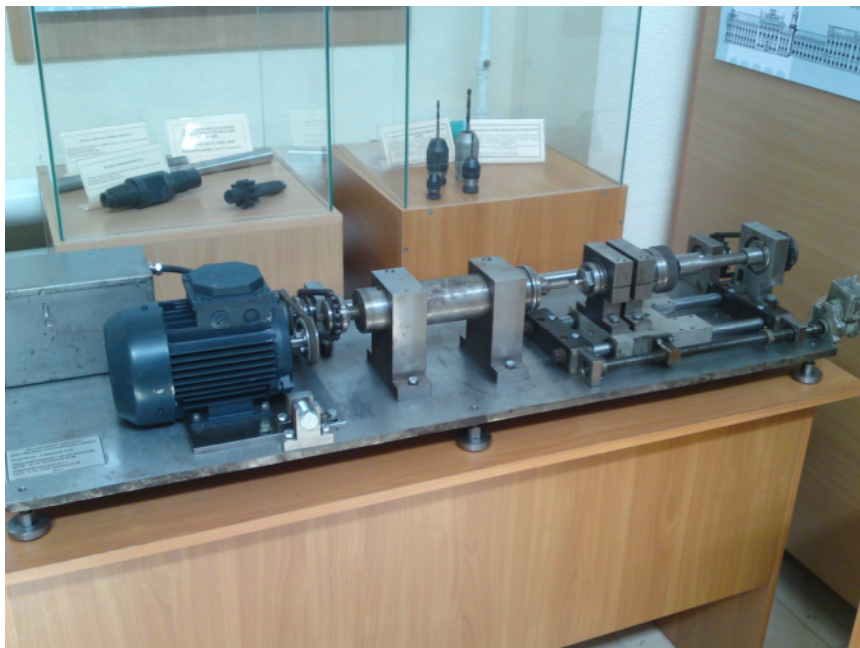


Рис. 3. Загальний вигляд верстата-стенда для обробки полігональних отворів

Для виготовлення деталей з полігональними отворами з різною кількістю граней та різними розмірами отворів верстат-стенд може бути укомплектований різними комплектами зірочок для ланцюгової передачі з основного розподільчого валу на інструментальний шпиндель, який в свою чергу може налаштовуватися на різний ексцентриситет відносно головного шпинделя. Для обмеження осьового переміщення може бути передбачений регульований упор з кінцевим вимикачем для зупинки електроприводу подачі.

На діючому макеті верстата планується виконувати лабораторну роботу для якої будуть розроблені методичні вказівки.

На рис. 4 та 5 показане взаємне розташування шпинделів та інструментальний шпиндельний вузол відповідно.

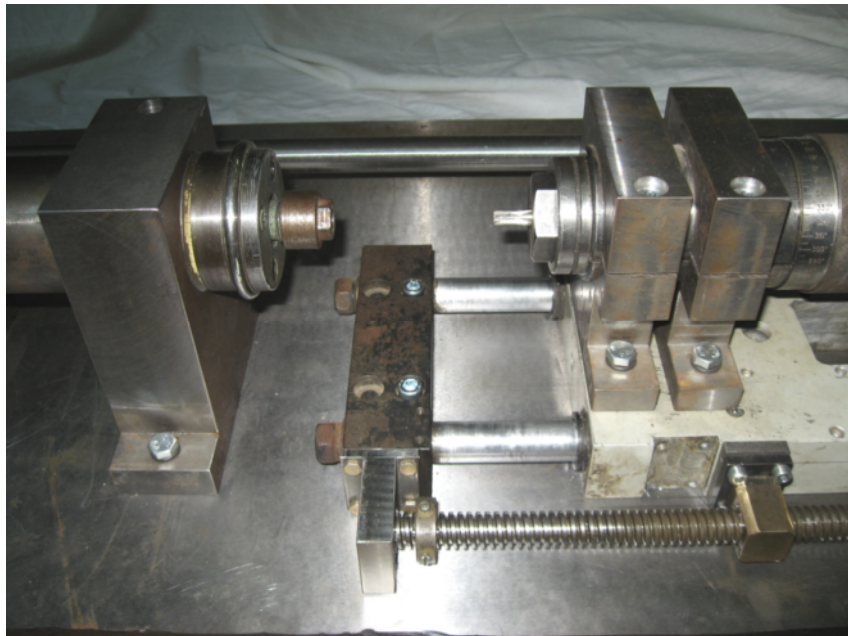


Рис. 4. Взаємне розташування шпинделів верстата-стенда

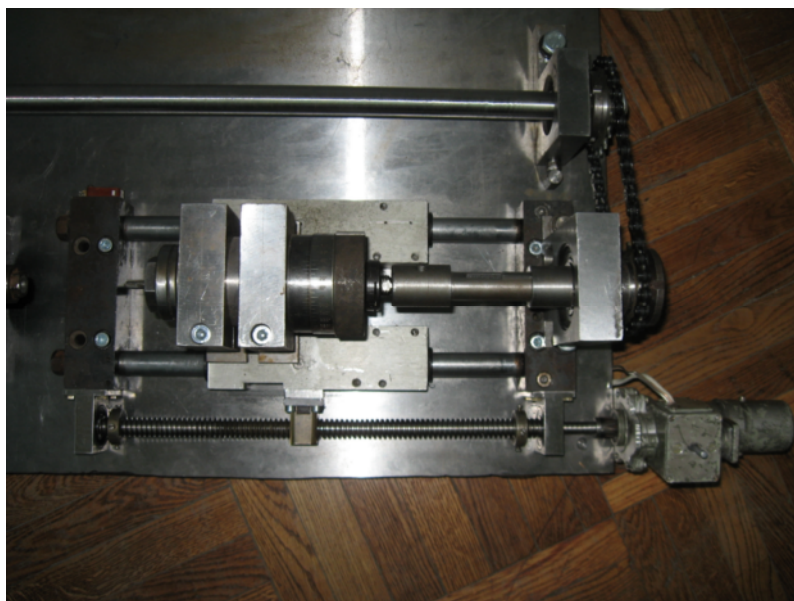


Рис. 5. Інструментальний шпиндельний вузол

Список літератури: 1. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Обработка полигональных поверхностей: Теория і практика. – К: ТОВ «ГНОЗИС», 2008. – 193с. 2. Самойленко О.В. Удосконалення токарних верстатів для обробки полігональних поверхонь методом кінематичного налагодження. Автореферат дис.... канд. техн. наук. – Київ, 2006. – 20с. 3. Т. Кузманов, Й. Максимов, Х. Метев. Съвременни индустриални технологии. – Университетско издателство «Васил Априлов», Габрово, 2004. – 123с. 4. А.с. №47221 Республика България. Метод, устройсто и инструмент на обработване на многостенни отвори, чрез събиране на въртения около упосредни оси, върху стругов авомат.; МКИ В23В 41/40 / Вачев А.А., Кузнецов Ю.Н., Алексиев С.Л., Максимов Й.Т, Пищалов И.П. – 1989, бюл. №6. 5. Патент України №40164А. Спосіб обробки зовнішніх олігональних поверхонь та пристрій для його реалізації. Заявка №2000047579 від 31.07.2000р., МПК В23В 41/04, опубл. 16.07.2001. Бюл. №6.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117

Ермоленко А.С., Михайлов А.Н. (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Газотурбинный двигатель ТВ3-117 предназначен для установки на вертолеты. Он является одним из лучших двигателей в мире по экономичности в своем классе, что достигнуто благодаря высоким КПД основных узлов (КПД компрессора равен 86%, КПД турбины компрессора – 91%, КПД свободной турбины – 96%). Величины удельного расхода топлива и удельной массы соответствуют лучшим мировым стандартам. Двигатель имеет большие запасы газодинамической устойчивости. В конструкции двигателя применены прогрессивные технические решения: титановый ротор компрессора, сваренный из отдельных дисков электронно-лучевой сваркой; рабочие и направляющие лопатки компрессора из титанового сплава, полученные методом холодной вальцовки; контактные графитовые уплотнения масляных полостей; на новейших модификациях применяется электронно-гидромеханическая система регулирования и управления и др. Двигатель имеет большой ресурс, обладает высокой надежностью, простотой обслуживания, хорошей ремонтпригодностью. Новейшие модификации сертифицированы. Разрабатываются опытные модификации для боевых вертолетов будущего. Некоторые модификации получили различные государственные премии СССР и России.

Одной из причин снижения ресурса работы авиационных двигателей является низкая эрозионная стойкость лопаток. Наиболее интенсивный износ лопаток авиадвигателей наблюдается при работе вертолетного двигателя в тропическом (или морском) климате и на песочных почвах, при этом поверхностный слой лопаток интенсивно разрушается из-за коррозионного и эрозионного воздействий. В процессе эксплуатации двигателя ТВ3-117 на поверхности лопаток направляющих аппаратов образуется плотный нагар, а также повреждается защитное покрытие. Основная трудность восстановительного ремонта поврежденных лопаток состоит в том, что местоположение, форма и размеры сколов в каждом конкретном случае уникальны. Ситуация осложняется тем фактом, что форма уже эксплуатировавшийся лопатки обычно незначительно отличается от номинальной САД-модели. Следовательно, каждый случай восстановительного ремонта лопатки требует сугубо индивидуального

подхода. Поэтому ремонт лопаток обычно выполняется вручную, что требует больших трудозатрат и значительно ограничивает точность, с которой может быть восстановлена форма передней кромки.

Лопатки, на которых в процессе дефектации обнаруживаются повреждения защитного покрытия без нарушения структуры материала подложки, подвергаются операции удаления дефектного покрытия с последующим перепокрытием деталей. Для обеспечения экологических требований производства требуется подобрать травильные растворы, не содержащие токсичной и не поддающейся утилизации плавиковой кислоты, входящей в состав электролитов, используемых в серийном производстве для удаления алюминидных покрытий.

Степень и характер эрозионного износа лопаток зависят от дисперсного состава пыли и ее количества, а также от скорости потока несущего винта[1]. При этом скорость коррозии увеличивается с повышением температуры в компрессорной части двигателя, которые достигают величины 500°C и выше для компрессоров высокого давления [2].

Известно много видов защитных покрытий лопаток: гальваническое, лакокрасочное, эмалирование, конденсационно-вакуумное.

Гальваническое покрытие типа никель-кадмиевое используется на лопатках для защиты от коррозии, но эрозионная стойкость и температура эксплуатации (до 300°C) у него очень низкая. При чем, во время процесса снятия и нанесения покрытия необходимо учитывать возможность наводораживания основного металла лопатки, что отрицательно сказывается на ее механических свойствах.

Лакокрасочное покрытие на основе эпоксидной эмали, нанесенное в 5–7 слоев также защищает лопатки от коррозии, однако, как и никель-кадмиевое покрытие, оно имеет низкую температуру эксплуатации. Эрозионная стойкость вследствие эластичности покрытия немного выше, чем у никель-кадмиевого, поэтому эпоксидное покрытие используют на лопатках направляющего аппарата компрессора вертолетного двигателя.

Процесс эмалирования представляет собой нанесение суспензии на основе глины и никелевого порошка с последующим отжигом при температуре 1000°C. Эмалирование лопаток считается выгодным, если лопатки необходимо защитить от высокотемпературной коррозии. В этом случае температура эксплуатации повышается до 400°C. Однако такая лопатка еще в большей степени подвержена эрозионным повреждениям, поскольку эмалированная поверхность подвержена к охрупчиванию в вышеописанных условиях эксплуатации.

Одно из перспективных покрытий – конденсационно-вакуумное покрытие. Известно, что покрытие из нитрида титана имеет не только хорошую коррозионную стойкость (1 балл по пятибалльной шкале [3]), но и повышенную эрозионную стойкость (0,019 – 0,028 г/мин [3]). Температура эксплуатации покрытия из нитрида титана достигает 350°C. Такое покрытие, имеющее толщину в несколько микрон (от 2-3 мкм) позволяет двигателю отрабатывать по 2-3 межремонтных ресурса (т.е. 1500-2100 часов). Однако, и при таких наработках идет существенный износ лопаток. На рис. 1 показаны рабочие лопатки компрессора (а), направляющие лопатки (б) и направляющий аппарат (в) вертолетного двигателя, отлетавшего 2987 часов. Как видно имеются значительные эрозионные повреждения, которые не допустимы техническими условиями на детали, следовательно, такие лопатки подлежат забракованию.



а) рабочие лопадки

б) направляющие лопадки

в) направляющий аппарат

Рис.1. Детали вертолетного двигателя ТВ3-117 с покрытием нитрида титана после эксплуатации в тропическом климате в условиях песочных почв

Чтобы повысить межремонтный ресурс деталей, коррозионную и эрозионную стойкость, и рабочие температуры покрытия, в материал покрытия при его напылении было решено ввести цирконий. Цирконий имеет исключительную коррозионную стойкость во многих агрессивных средах, устойчив в воде и водяных парах до $+300^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальные исследования. В процессе экспериментов на рабочие лопадки (титановый сплав ВТ-8) наносилось покрытие из TiZrN (нитрида титана-циркония) в установке «Булат-6». Покрытие из TiZrN получилось желтовато-золотистого цвета толщиной 5–5,5 мкм (рис. 2).



Рис. 2. Покрытие из TiZrN , нанесенное на лопадки вертолетного двигателя ТВ3-117 в вакууме плазменно-ионным методом

Для определения эрозионной и коррозионной стойкости покрытия были проведены испытания согласно существующим методикам.

Испытания на эрозионную стойкость покрытия TiZrN на рабочих лопатках показало, что скорость эрозии составляет всего 0,012 г/мин, тогда как у TiN составляет 0,028 г/мин [3], а у лопаток без покрытия – 0,036 г/мин.

Испытания на коррозионную стойкость покрытия TiZrN привели к тому, что лопадка как после 50 циклов испытания (нагрев до 350°C и последующее охлаждение тонкораспыленным 5% соевым раствором), так и после 100 циклов не имела окислительно-коррозионных поражений. Это, в свою очередь дает оценку 10 по десятибалльной шкале определения коррозионной стойкости.

Кроме того, проведенные исследования показали, что напыленное покрытие TiZrN имеет высокую микротвердость – 34 ГПа, в сравнении с покрытием TiN : 27,4 ГПа [3]. При увеличении температуры эксплуатации (от 300°C до 500°C) у лопатки с

покрытием TiZrN происходит уменьшение микротвердости покрытия, а также увеличение скорости эрозии (рис. 3).

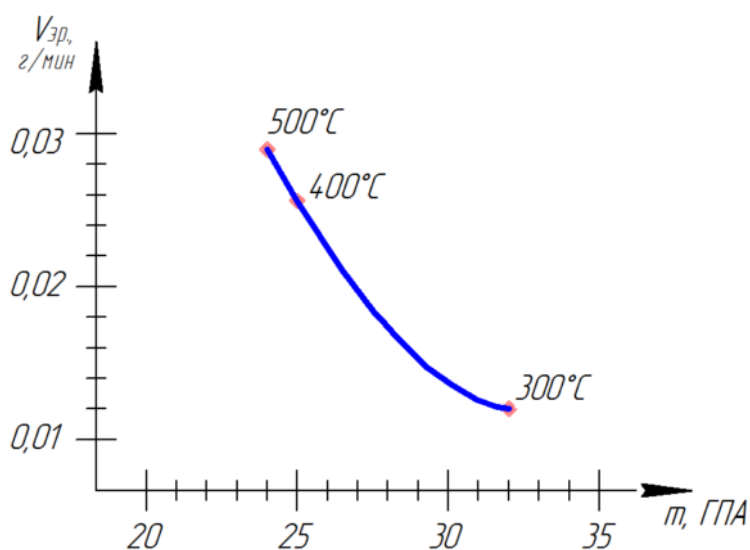


Рис.3. Зависимость скорости эрозии от микротвердости и температуры покрытия TiZrN

Выводы. Для защиты лопаток газотурбинного двигателя ТВ3-117 (титановый сплав ВТ-8) было выбрано и нанесено с помощью установки «Булат-6» покрытие TiZrN желтовато-золотистого цвета. Данное покрытие было испытано на коррозионную, эрозионную и жаростойкость, а также определена его микротвердость. Поскольку скорость эрозии TiZrN в 2,3 раза ниже, чем у TiN и в 3 раза ниже, чем у лопаток без покрытия, то можно эксплуатировать авиадвигатели без пылегазозащитных устройств в песочных районах. У покрытия TiN коррозионная стойкость в 3 раза ниже, чем у TiZrN, следовательно, последние можно эксплуатировать в морских и тропических климатах. Испытания на определение предельной рабочей температуры TiZrN показали, что покрытия работоспособны до 500°C (и микротвердость при этой температуре не намного ниже, чем у TiN), что позволяет его использовать на лопатках компрессора высокого давления.

Кроме того, при использовании покрытия TiZrN увеличивается межремонтный ресурс лопаток как минимум в 3 раза. При этом стоимость ремонта авиадвигателя с учетом напыления защитного покрытия на лопатки будет всего лишь на 3,5–5,0% выше от исходной.

Список литературы: 1. Алексеев В.К., Волкова Л.Ф., Гликсон И.Л., Лукьянов В.С. Распределение пылевых частиц в проточной части компрессора //Авиационная промышленность. – 1989. – №7. – С. 24– 25. 2.Ржавин Ю.А. Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов. – М: Изд-во МАИ, 1995 – 243 с. 3.Душкин А.М., Прощин А.Б., Иванов Е.Г. Защитные покрытия для стальных лопаток компрессора ГТД //Авиационная промышленность. – 1988. – №7. – С. 13–15.