

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

СБОРКА

В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ



ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

3 2009
(104)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Безъязычный В.Ф. Технологическое обеспечение комплекса параметров качества поверхностного слоя и точности обработки на стадии технологической подготовки производства	3
Семенов А. Н. Методология системного подхода к проектированию сборки высокотехнологичных изделий	11

Технологическая оснастка для сборки

Воркуев Д.С. Обоснование условий надежного снятия разрезных резьбовых кулачков с завинченных шпилек при групповой автоматизированной сборке	15
Шуваев В.Г., Папшев В.А., Шуваев И.В. Ультразвуковой инструмент для сборки и разборки резьбовых соединений	18

Сборка с использованием клея

Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Исследование эксплуатационных характеристик аэробных kleев и герметиков	21
---	----

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Костюков В.Н., Науменко А.П. Решения проблем безопасной эксплуатации поршневых машин	27
Кравченко В.И., Костюкович Г.А., Кипнис М.Е., Красневский Л.Г., Адашкевич В.И. Модернизация стенда для испытания шлицевых соединений карданных валов	37
Плотников А.Л., Ханов Г.В., Крылов Е.Г. Обеспечение надежности работы сборного многоглазийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании	40

Справочный материал

Старжинский В.Е., Антонюк В.Е., Кане М.М., Шалобаев Е.В., Шилько С.В. Словарь-справочник по зубчатым передачам русско-английско-немецко-французский. Продолжение	45
--	----

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Tel.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: sborika@mashin.ru; tsmm@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель
редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА	Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.С. ВАСИЛЬЕВ	А.И. КУМЕНКО
(главный редактор)	А.В. МЕДАРЬ
А.А. ГУСЕВ	Е.А. МИКРИН
М.В. ВАРТАНОВ	Ю.Ф. НАЗАРОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ	В.В. ПОРОШИН
И.Н. ЖЕСТКОВА	Б.В. ШАНДРОВ
(зам. главного редактора)	А.А. ШАТИЛОВ
И.Н. ЗИНИНА	А.Г. ХОЛОДКОВА
Ю.Л. ИВАНОВ	Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

АСТРАХАНЬ	ОРЕNBУРГ
В.В. МИКИТЯНСКИЙ	А.Н. ПОЛЯКОВ
БЕЛГОРОД	А.И. СЕРДЮК
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	А.П. ФОТ
БРЯНСК	РЫБИНСК
О.А. ГОРЛЕНКО	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
ВЛАДИВОСТОК	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
Ю.Н. КУЛЬЧИН	А.Н. СЕМЕНОВ
А.А. СУПОНЯ	САМАРА
В.М. КОРНИЕНКО	М.В. ЕВДОКИМОВ
ВОЛГОГРАД	Ю.А. ВАШУКОВ
В.Г. КАРАБАНЬ	Г.А. КУЛАКОВ
М.Г. КРИСТАЛЬ	В.А. НИКОЛАЕВ
В.И. ЛЫСАК	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.М. ТРУХАНОВ	В.Ф. КУЗЬМИН
ИЖЕВСК	Е.В. ШАЛОБАЕВ
И.В. АБРАМОВ	ТОЛЬЯТИ
Б.А. ЯКИМОВИЧ	А.И. РЫЖКОВ
В.Г. ОСЕТРОВ	Б.Ф. ХАЗОВ
И.К. ПИЧУГИН	ХАБАРОВСК
КАЗАНЬ	В.А. ЛАШКО
Р.И. АДГАМОВ	Украина
КОВРОВ	КИЕВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ	А.С. ЗЕНКИН
КОЛОМНА	В.А. МАТВИЕНКО
Ю.Д. АМИРОВ	ДОНЕЦК
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ	А.Н. МИХАЙЛОВ
Б.Н. МАРЫН	СЕВАСТОПОЛЬ
В.И. ШПОРТ	Е.Л. ПЕРВУХИНА
А.М. ШПИЛЕВ	ХАРЬКОВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	Б.М. АРПЕНТЬЕВ
С.В. ДМИТРИЕВ	Беларусь
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	МИНСК
ОМСК	В.Л. БАСИНЮК
В.Н. КОСТЮКОВ	ГOMЕЛЬ
ОРЕЛ	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
Ю.С. СТЕПАНОВ	ПОЛОЦК
Г.А. ХАРЛАМОВ	М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Н.М. КУЩ-ЖАРКО, Л.В. САВЕЛЬЕВА

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS
THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

3 2009
(104)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Beziazshny V.F. Manufacturing support of perfection factors complex of surface layer and working accuracy on the process engineering stage 3

Semenov A.N. The methodology of system approach to high-technology production assembly design 11

Technological equipment for assembly

Vorkuev D.S. Validation of the conditions for reliable removal of split threaded cams from screwed pins in the process of automated group assembly 15

Shubaev V.G., Papshev V.A., Shubaev I.V. Ultrasonic tool assembling and disassembling of threaded connections 18

Assembly with use glue

Tulinov A.B., Goncharov A.B. Operational properties research of anaerobic adhesives and sealing components 21

Quality assurance. Testing. Monitoring

Kostiukov V.N., Naumenko A.P. Solutions of safe service problems of reciprocators 27

Kravchenko V.I., Kostukovich G.A., Kipnis M.E., Krasnevsky L.G., Adashkevich V.I. Modernization of the stand for test spline joints of drive shaft 37

Plotnikov A.L., Hanov G.V., Krylov E.G. Creation reliable work of assembled multiedge tool from a firm alloy on automatic metal-cutting equipment 40

Reference source

Starzhinsky V.E., Antonjuk V.E., Kane M.M., Shalobaev E.V., Shilkov S.V.

The dictionary – hand-book on gearings (Russian-English-German-French).

A prolongation 45

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **79748**, the union catalogue "Pressa Rossi" **84967**, the catalogue "Pochta Rossi" **60257**) or directly in editorial of the journal.

Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.

<http://www.mashin.ru> E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru

Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building" 107076, Moscow, Stromynsky per. 4

The reference to the *Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal* during reprint of the materials is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board –
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW

VASILEV A.S.
(Chief editor)
VARTANOV M.V.
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA I.N.
(Deputy chief editor)
ZININA I.N.
IVANOV Y.U.L.
KOZYREV Y.U.G.

KUMENKO A.I.
MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

ASTRACHAN

MIKITANSKI V.V.

BELGOROD

PELIPENKO N.A.

BRIANSK

GORLENKO O.A.

VLADIVOSTOK

KULSHIN Yu.N.

SUPONIA A.A.

KORNENKO V.M.

VOLGOGRAD

KRISTAL M.G.

KARABAN' V.G.

LYSAK V.I.

TRUKHANOV V.M.

IZHEVSK

ABRAMOV I.V.

YAKIMOVICH B.A.

OSETROV V.G.

PITCHUGIN I.K.

KAZAN

ADGAMOV R.I.

KOBROV

ZHITNIKOV Yu.Z.

KOLOMNA

AMIROV Yu.D.

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

MARJIN B.N.

SCHPORT V.I.

SHPILEV A.M.

NABEREZHNYE CHELNY

DMITRIEV S.V.

KHISAMUTDINOV R.M.

OMSK

KOSTIUKOV V.N.

OREL

STEPANOV Yu.S.

KHARLAMOV G.A.

ORENBURG

POLYAKOV A.N.

SERDUK A.I.

FOT A.P.

RYBINSK

BEZIAZSHNY V.F.

NEPOMILUEV V.V.

SEMEONOV A.N.

SAMARA

EVDOKIMOV M.V.

VASHUKOV Yu.A.

KULAKOV G.A.

NIKOLAEV V.A.

ST.-PETERSBURG

KUZMIN V.F.

SHALOBAEV E.V.

TOLIATI

KAZHOV B.F.

RYZHKOV A.I.

KHABAROVSK

LASHKO V.A.

Ukraine

KIEV

ZENKIN A.S.

MATVIENTKO V.A.

DONETSK

MIKHAILOV A.N.

SEVASTOPOL

PERVUKHINA E.L.

KHARKOV

ARPENTIEV B.M.

Belarus

MINSK

BASINJUK V.L.

GOMEL

STARZHINSKI V.E.

POLOTSK

KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:

KUSH-ZHARKO N.M., SAVELIEVA L.V.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media. Registration certificate ПИ № 77-1747,

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

В.Ф. Безъязычный, д-р техн. наук
(Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)

Технологическое обеспечение комплекса параметров качества поверхностного слоя и точности обработки на стадии технологической подготовки производства*

Представлены результаты исследований, выполненных автором самостоятельно, а также совместно с его учениками.

Research results performed by author himself and in cooperation with his pupils have been represented.

Ключевые слова: параметр качества, поверхностный слой, точность обработки, технологическая подготовка производства.

Key words: perfection factor, surface layer, working accuracy, process engineering.

Для ответственных деталей машин необходимо обеспечить требуемые эксплуатационные свойства, которые зависят от одного или нескольких параметров.

Эксплуатационные свойства определяются как параметрами точности деталей, так и качеством их поверхностного слоя (шероховатостью, степенью и глубиной наклена, величиной и знаком остаточных напряжений). Именно поэтому в производственных условиях в целях обеспечения тех или иных эксплуатационных показателей необходимо обеспечить наряду с заданной точностью обработки комплекс параметров, характеризующих поверхностный слой:

- параметры шероховатости обработанной поверхности;
- величину и степень наклена;
- величину и знак остаточных напряжений.

Зная свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрические параметры инструмента, размеры обрабатываемой детали, параметры оборудования и обрабатываемой поверхности, можно определить режимы обработки и уточнить геометрические параметры режущего инструмента.

В связи с этим требуется наличие взаимосвязи технологических условий обработки с параметрами качества поверхностного слоя, точности обработки, свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, жесткостью технологической системы, размерами детали, что может быть представлено следующим образом:

$$(t, s, v, r, \phi) = f(\sigma_{\text{ост}}, h_c, Rz, \Delta\varepsilon, T_p, \sigma_v, \sigma_t, E_d, \tau_p, \mu, \beta_d, \beta_p, \lambda_{ct}, a, \lambda_d, \lambda_p (cp), \theta_p, \gamma, \alpha, \varphi_1, \rho_1, j_{\text{сист}}, B_1, H_1, L_p, H), \quad (1)$$

где σ_t и E_d – соответственно предел текучести и модуль упругости обрабатываемого материала (детали), МПа;

β_d и β_p – коэффициенты линейного температурного расширения соответственно обрабатываемого и инструментального (резца) материалов, $1/^\circ\text{C}$;

τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, МПа;

μ – коэффициент Пуассона обрабатываемого материала;

λ_p , λ_d и λ_{ct} – коэффициенты теплопроводности соответственно инструментального, обрабатываемого материала и материала стержня режущего инструмента, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot {}^\circ\text{C})$;

α и γ – соответственно задний и передний углы инструмента, рад;

ϕ и φ_1 – соответственно главный и вспомогательный углы резца в плане, рад;

r и ρ_1 – соответственно радиус при вершине резца в плане и радиус округления режущей кромки, мм;

$j_{\text{сист}}$ – жесткость технологической системы "станок – приспособление – инструмент – заготовка" (СПИЗ), Н/м;

L_p и H – соответственно длина и высота детали, мм;

B_1 и H_1 – соответственно высота и ширина сечения державки резца, мм;

* Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева. 2007.



v — скорость резания, м/с;
 σ_b — предел прочности обрабатываемого материала на разрыв, МПа;
 h_c — глубина наклена материала поверхностного слоя, мкм;
 Rz — высота неровностей профиля, мкм;
 t и s — соответственно глубина и подача резания, мм;
 $\Delta\varepsilon$ — суммарная погрешность обработки, мкм;
 $\sigma_{\text{ост}}$ — величина остаточных напряжений в поверхностном слое, МПа;
 a — теплопроводность обрабатываемого материала, $\text{м}^2/\text{с}$;
(ср) — удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала;
 θ_p — температура в зоне резания;
 T_p — стойкость режущего инструмента.

Автором были выполнены комплексные теоретические исследования по расчетному определению остаточных напряжений, глубины и степени наклена, параметров шероховатости и погрешности обработки с учетом одновременного действия механических и тепловых явлений при резании материалов. Параметры качества поверхности определены теоретическим путем с учетом объемного характера деформации и тепловыделения в металле снимаемого припуска и поверхностного слоя. Размерная погрешность обработки теоретически рассчитана с учетом динамического состояния системы СПИЗ, температурных деформаций обрабатываемой детали и режущего инструмента, радиального износа инструмента.

На основе выполненных исследований получено обобщенное выражение многоцелевой функции, устанавливающей связь между:

- ♦ технологическими условиями обработки (режимы резания, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, характеристики системы СПИЗ, геометрия инструмента и детали);
- ♦ параметрами поверхностного слоя (шероховатость, глубина и степень наклена, остаточные напряжения);
- ♦ точностью обработки (технологический допуск);
- ♦ производственными показателями процесса обработки (стойкость инструмента, производительность).

На основе многоцелевой функции разработаны алгоритмы для комплексной оптимизации с учетом

качества и эффективности процессов механической обработки деталей, которые реализованы на ЭЦВМ.

Обработка результатов экспериментов методами теории подобия позволила получить обобщенные теоретико-экспериментальные зависимости для определения параметров шероховатости обработанной поверхности, глубины и степени наклена, остаточных напряжений.

Разработанные алгоритмы и программы целевых функций, обладая большой общностью, могут быть использованы при *автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки*, а также на рабочих местах, оснащенных микро-ЭВМ, для оперативной оценки обрабатываемости сталей и сплавов, определения оптимальных технологических условий обработки конкретных деталей.

Полученные теоретические и теоретико-экспериментальные выражения позволяют *автоматизировать процесс оптимального нормирования длительности обработки* с учетом удовлетворения требований к качеству готовой детали (параметры поверхностного слоя, погрешность обработки) и эффективности процесса обработки (стойкость инструмента, производительность, себестоимость).

Предложены рекомендации по определению технологических условий обработки, обеспечивающих получение заданных эксплуатационных свойств (усталостная прочность, износостойчивость, контактная жесткость, концентрация напряжений и др.). На различных этапах этих исследований принимали участие д-р техн. наук Т.Д. Кожина, канд. техн. наук Т.В. Шарова, канд. техн. наук Т.А. Бакунина, канд. техн. наук А.В. Константинов, канд. техн. наук Т.Н. Литвинова, канд. техн. наук А.Е. Лицов.

Задачей технолога является обеспечение комплекса показателей качества поверхностного слоя и точности размеров обработанной детали

$$\{Ra_0, \sigma_{\text{ост}}, h_0, \Delta\varepsilon\},$$

где Ra_0 — заданное значение шероховатости детали; h_0 — заданное значение глубины наклена.

В конкретном случае эксплуатационные свойства детали определяются в большей или меньшей степени каждым из этих показателей. В общем случае отклонение от оптимальной величины любого из этих показателей качества (в сторону увеличения или уменьшения действительной величины



показателя) влечет за собой ухудшение эксплуатационных свойств детали. Поскольку показатели имеют различные размерности, то необходимо использовать их относительное, а не абсолютное изменение от оптимальной величины. В качестве целевой функции оптимизации целесообразно использовать функцию вида

$$\begin{aligned} f(Ra, \sigma_{\text{oct}}, h_c, \Delta\varepsilon) = \\ = c_1 \left(\frac{Ra - Ra_0}{Ra_0} \right)^2 + c_2 \left(\frac{\sigma_{\text{oct}} - \sigma_{\text{oct}0}}{\sigma_{\text{oct}0}} \right)^2 + \\ + c_3 \left(\frac{h_c - h_0}{h_0} \right)^2 + c_4 \left(\frac{\Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon_0}{\Delta\varepsilon_0} \right)^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где c_i – соответствующие весовые коэффициенты, позволяющие установить вклад того или иного показателя качества поверхности слоя детали в ее общую надежность;

Ra , σ_{oct} , h_c , $\Delta\varepsilon$ – текущие значения параметров соответственно шероховатости, остаточных напряжений, глубины наклена и погрешности обработки;

Ra_0 , $\sigma_{\text{oct}0}$, h_0 , $\Delta\varepsilon_0$ – заданные значения параметров соответственно шероховатости, остаточных напряжений, глубины наклена и погрешности обработки.

Целевая функция в процессе оптимизации должна быть сведена к минимуму и для ее решения используется алгоритм оптимизационного поиска.

Оптимальное управление процессом механообработки предполагает решение двухэтапной задачи:

- **задачи внешней оптимизации** – назначения технологических условий обработки, обеспечивающих получение деталей заданной точности с требуемыми параметрами качества поверхности слоя при стационарном протекании процесса резания;
- **задачи внутренней оптимизации** – автоматизированного управления процессом обработки, позволяющего компенсировать нестабильность процесса, вызванную износом режущего инструмента, колебаниями припуска заготовки и другими факторами.

Первая часть оптимизации изложена выше. Вторая часть оптимизации решалась по следующей схеме. Исследованиями автора совместно с д-ром техн. наук Т.Д. Кожиной и канд. техн. наук

Э.В. Киселевым установлено, что заданному комплексу показателей качества поверхностного слоя соответствует некоторая определенная величина энергетического критерия:

$$A = \frac{a_1 b_1 (c\rho)_d \theta_p}{P_z}, \quad (3)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

a_1 и b_1 – соответственно толщина и ширина среза в процессе обработки;

$(c\rho)_d$ – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала.

Это положение составляет основу алгоритма работы автоматизированной системы управления процессом резания, обеспечивающей получение детали заданной точности с требуемыми показателями качества поверхности слоя.

После ввода в управляющую ЭВМ геометрической формы детали и режущего инструмента, марок обрабатываемого и инструментального материалов, параметров станочного оборудования и приспособлений и других известных технологических условий обработки, а также после задания требуемых показателей точности обработки и качества поверхности слоя детали, система расчета режимов резания определяет оптимальные условия обработки.

Для полученных условий обработки определяются оптимальная величина энергетического критерия и пределы его возможного отклонения, зависящие от величин допустимых отклонений параметров качества от их требуемых величин. Полученные режимы резания передаются на станок и проводится обработка детали. В процессе обработки контролируют текущую величину силы резания и температуру в зоне резания.

По полученным величинам рассчитывают текущую величину энергетического критерия. В случае отклонения этой величины за допустимые пределы проводят расчет новых режимов обработки, обеспечивающих поддержку критерия на заданной оптимальной величине, которые передаются на станок – изменяются условия процесса резания, что позволяет компенсировать нестабильность его протекания. Поддержание стабильным энергетического критерия обеспечивает получение комплекса заданных показателей точности и качества поверхности слоя обрабатываемой детали.



Дальнейшую разработку этого направления выполнили кандидаты техн. наук А.В. Пудов и А.В. Кордюков.

А.В. Пудовым разработана математическая модель суммарной погрешности токарной обработки на станках с ЧПУ, характерной особенностью которой является то, что все составляющие ее элементарные погрешности получены как функции от длины обработанного участка заготовки, в результате чего появляется возможность прогнозирования суммарной погрешности на любом участке вдоль обрабатываемой поверхности заготовки.

Указанная математическая модель отличается от существующих аналогов тем, что учитывает:

- взаимовлияние переменных технологических условий обработки;
- динамически нарастающий износ используемого режущего инструмента, а также особенности косоугольного резания;
- конструкционные особенности обрабатываемой заготовки, размеры и расположение обрабатываемого участка на этой заготовке;
- использование смазочно-охлаждающих технологических сред, эффективность влияния которых на выходные характеристики токарной обработки материалов предопределяется не только свойствами этих СОТС, их расходом и скоростью подвода в зону резания, но и технологическими условиями осуществления процесса обработки.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями ряда ученых доказано, что предел выносливости деталей машин в значительной степени определяется шероховатостью их поверхностей и физико-математическим состоянием поверхностного слоя — наклепом и остаточными напряжениями. Для обеспечения заданного предела выносливости необходимы определенные значения параметров качества поверхностного слоя, получить которые можно при управлении процессом резания.

Таким образом, целесообразно найти зависимость между пределом выносливости обрабатываемой детали и режимами обработки, а следовательно, и параметрами качества поверхностного слоя, через энергетический критерий процесса резания A , характеризующий работу, затрачиваемую на снятие припуска.

В качестве характеристик сопротивления усталости используют предел выносливости и критерии степени поврежденности металла. Предел вы-

носливости определяют в процессе усталостных испытаний, проведение которых требует значительных временных и материальных затрат. В этом смысле выгодно отличается от определения предела выносливости определение критерия поврежденности материала по изменению модуля упругости $E_{\text{обр}} / E_{\text{исх}}$. Для определения предела выносливости детали после обработки воспользуемся следующим соотношением:

$$\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1 \text{ исх}}} = f\left(\frac{E_{\text{обр}}}{E_{\text{исх}}}\right), \quad (4)$$

где σ_{-1} и $\sigma_{-1 \text{ исх}}$ — предел выносливости детали соответственно после обработки и в исходном состоянии (до обработки);

$E_{\text{обр}}$ и $E_{\text{исх}}$ — модули упругости материала поверхностного слоя детали после обработки и в исходном состоянии соответственно.

Совместными исследованиями автора с кандидатами техн. наук Б.М. Драпкиным, Н.В. Осадчим, Р.В. Любимовым, А.Л. Водолагиным доказано, что отношение модулей упругости в исходном состоянии и после обработки примет вид

$$\frac{E_{\text{обр}}}{E_{\text{исх}}} = \frac{CA}{E_{\text{исх}}},$$

где C — величина, зависящая от свойств обрабатываемого материала.

Значение энергетического критерия процесса резания A до выполнения обработки можно рассчитать по уравнению проф. С.С. Силина:

$$A = \frac{1}{\frac{2,85E^{0,1}}{B^{0,43} \sin^{0,05} \alpha} + 0,6625 \frac{\Gamma D^{0,3} E^{0,175}}{B \sin^{0,165} \alpha}},$$

где $B = \frac{va_1}{a}$ — критерий процесса резания, характеризующий степень влияния режимных условий процесса резания по сравнению с влиянием теплофизических свойств обрабатываемого материала;

a_1 — толщина среза, м;

a — температуропроводность обрабатываемого материала, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\Gamma = \frac{\lambda_d}{\lambda_i} \beta e$ — критерий, отражающий влияние геометрии инструмента и отношения теплопроводно-



стей инструментального и обрабатываемого материалов;

β и ε – соответственно угол заострения и угол при вершине резца в плане, град.:

$$\Delta = \frac{a_1}{b_1} \text{ – безразмерный комплекс, характеризующий геометрическую форму сечения среза;}$$

b_1 – ширина среза, м;

$$E = \frac{p_1}{a_1} \text{ – безразмерный комплекс, характеризующий влияние на процесс резания геометрической формы режущей кромки резца;}$$

p_1 – радиус округления режущей кромки резца, м.

Тогда в первом приближении можно принять с учетом (4)

$$\sigma_{-1} = \frac{CA}{E_{\text{исх}}} \sigma_{-1 \text{ исх}}. \quad (5)$$

Исследования А.Л. Водолагина показали, что на основе анализа взаимосвязи предела выносливости с параметрами качества поверхности слоя с использованием формулы (5) могут быть получены зависимости предела выносливости от комплекса параметров качества поверхности слоя:

- при точении

$$\sigma_{-1} = m(\sigma_b / \sigma_{b,3})^K Rz^{-0,05} h_c^{-0,147} \sigma_{\text{ост}}^{-0,09}; \quad (6)$$

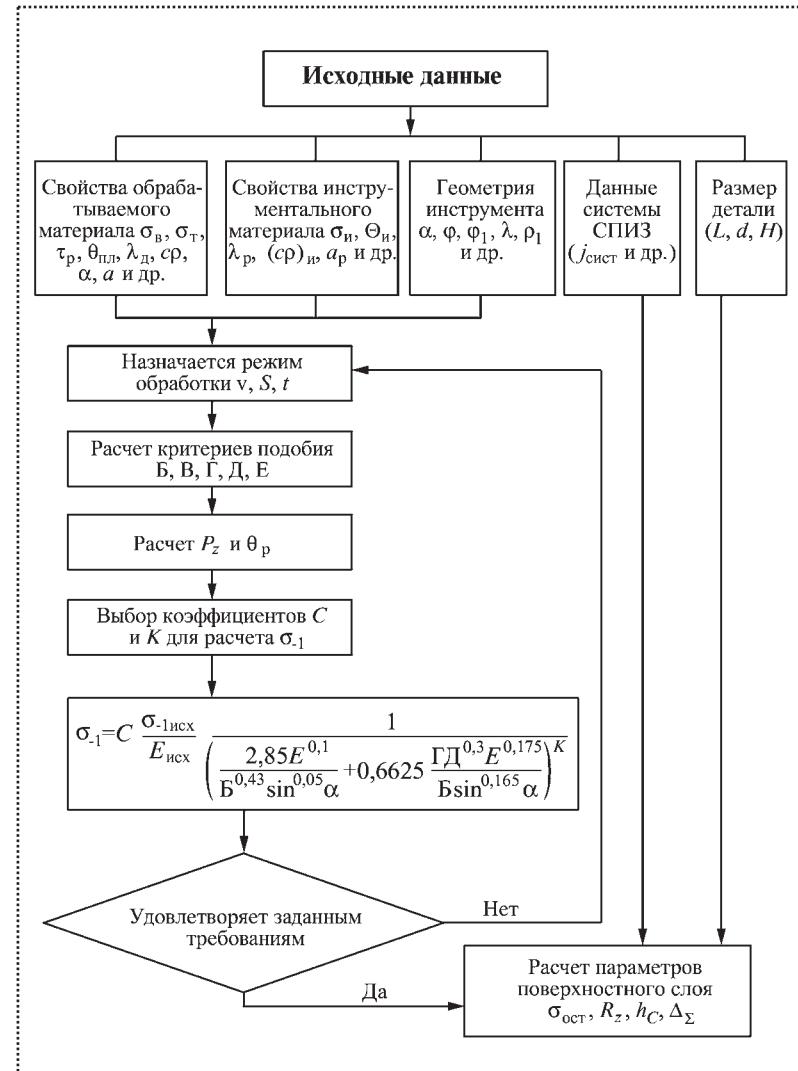
- при фрезеровании

$$\sigma_{-1} = n(\sigma_b / \sigma_{b,3})^L Rz^{-0,067} h_c^{-0,139} \sigma_{\text{ост}}^{-0,063}, \quad (7)$$

где m , n , K , L – величины, зависящие от свойств обрабатываемых материалов;

$\sigma_b / \sigma_{b,3}$ – отношение предела прочности обрабатываемого материала к пределу прочности электротехнической стали, принятой за эталон.

Выполненные исследования были использованы для разработки рекомендаций по назначению технологических условий обработки на стадии конструкторско-технологической подготовки производства. Предлагается следующая последовательность расчета технологических условий обра-



Блок-схема расчета технологических условий обработки

ботки в целях обеспечения требуемых значений предела выносливости (см. рисунок).

Таким образом, задавая значения условий технологической обработки (v , s , t), геометрические характеристики инструмента (α , φ , φ_1 , γ , ρ и др.), а также используя справочные данные по обрабатываемому и инструментальному материалам (λ_d и λ_p , c_p , a и a_p , σ_b , $E_{\text{исх}}$, $\sigma_{-1 \text{ исх}}$ и др.), можно расчетным путем определить значение предела выносливости детали после обработки, а также решить обратную задачу: определить условия обработки в целях обеспечения требуемого предела выносливости с учетом свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Выполненные автором исследования позволили д-ру техн. наук В.В. Непомилуеву решить ряд дру-



гих научных и производственных проблем. В.В. Непомилуевым впервые разработана методика расчета сборочных упругих размерных цепей роторов газотурбинных двигателей (ГТД) с учетом жесткости деталей и их стыков, впервые предложены методики выбора оптимальных решений относительно качества поверхности слоя деталей машин по триботехническим характеристикам и оценки влияния СOTC на качество поверхности слоя и эксплуатационные свойства деталей, позволяющие избежать проведения трудоемких экспериментов; получена математическая модель интенсивности износа режущего инструмента при чистовом точении.

Полученные математические модели и разработанные методики позволяют определить требования к уровню эксплуатационных свойств и назначать технологические условия обработки деталей с учетом износа режущего инструмента и действия СOTC, обеспечивающие этот уровень.

В дальнейшем им совместно с кандидатами техн. наук В.Ю. Ерошковым, Е.В. Тимофеевой и М.Е. Ильиной созданы теоретические основы новой технологии сборки, обеспечивающей высокое качество изготовления гибких роторов ГТД при минимальных затратах. К наиболее существенным научным результатам этой работы относится разработка технологического обеспечения качества сборки высокоточных изделий методом индивидуального подбора деталей, реализуемым при осуществлении виртуальной сборки, что обеспечивает полное использование информационного ресурса и управляемость процесса.

Теоретические основы исследования точности машин путем расчета нежестких размерных цепей позволяют превратить теорию размерного анализа в мощный и гибкий инструмент исследования реальных конструкций, создавать их адекватные математические модели. Результаты теоретического исследования влияния геометрических и физических параметров деталей, технологических параметров процесса сборки и эксплуатационных факторов на точность нежестких размерных цепей роторов ГТД позволяют оптимизировать конструкцию и технологию их сборки, научно обоснованно формулировать требования к качеству изготовления деталей.

В определенной степени продолжением этих работ является создание *теории компенсирующей сборки*, основанной на компенсации негативных

реакций избыточных связей, которые формируются в том числе и качеством изготовления деталей. Эта работа выполнена д-ром техн. наук А.Н. Семеновым. Им разработаны методологический подход и комплекс методик, позволяющих обеспечивать качество сборки узлов с избыточным базированием деталей, а также автоматизированная система комплектования и распределения бандажированных лопаток в дисках, основанная на двухкритериальной оптимизации сборочного процесса по характеристикам внешнего и внутреннего качества бандажированных рабочих колес турбомашин.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для научно обоснованного прогнозирования выходных характеристик высокоресурсных узлов любых машин на стадии технологической подготовки производства, при технологической обработке новых технологических решений.

В разработке научных и практических задач по проблемам сборочных технологических процессов следует отметить также исследования канд. техн. наук И.Н. Аверьянова.

Широкое использование бандажированных рабочих колес компрессора и турбины в современных конструкциях авиационных двигателей, существенно понизивших вибронапряженность рабочих лопаток, в настоящее время в ряде случаев лимитирует дальнейшее увеличение ресурса. Основная причина этого связана с недостаточной долговечностью контактных граней бандажных лопаток, подверженных фреттинг-износу.

В то же время даже на отработанных конструкциях ГТД имеются случаи усталостного разрушения бандажированных лопаток, которое связано с наличием чрезмерного натяга либо с разбандажированием вследствие износа. Среди множества возможных и используемых методов повышения фреттингстойкости не имеется бесспорно признанных и широко применяемых. Недостаточная изученность физических процессов и особенностей контактного взаимодействия при фреттинге затрудняют разработку эффективных рекомендаций по использованию износостойких покрытий или методов упрочнения бандажных полок.

В этом направлении заслуживают внимания исследования, выполненные д-ром техн. наук А.Н. Семеновым. Им установлено, что надежность и долговечность работы бандажированных лопаток можно обеспечить лишь в результате комплексных



мероприятий: обеспечение равномерности распределения контактных давлений по бандажным полкам и обоснованное назначение начального натяга в зависимости от уровня вибранапряжений в переделах, фреттингостойкости используемых методов и требуемого ресурса работы. В разработанной методике обеспечения и назначения технологического натяга изложены конкретные пути повышения точности сборки, усталостной долговечности лопаток и ресурса работы бандажированных ступеней.

Работы в этом направлении продолжены канд. техн. наук Р.В. Любимовым, которым разработана методика оценки качества контактирующих поверхностей при различных видах функционного взаимодействия.

В авиамоторостроении решение вопросов, связанных с разработкой методов и средств оценки и обеспечения параметров фрикционной усталости зубьев стальных и титановых зубчатых колес, прежде всего цилиндрических внешнего зацепления, представляет собой актуальную и важную научную и прикладную проблему. В связи с этим представляют научный и практический интерес работа В.Ю. Замятиня, в которой установлены закономерности макро- и микроконтактирования зубьев зубчатых колес авиационных двигателей. Разработаны подходы к определению параметров фрикционной усталости и соответствующему им ресурсу зацеплений. Уточнено влияние технологических и эксплуатационных факторов на фрикционно-усталостную стойкость стальных и титановых зубчатых колес с модифицированными активными участками. Скорректированы требования к контактным поверхностям зубьев стальных и титановых зубчатых колес.

Увеличение ресурса и повышение надежности авиационных двигателей определяется не только совершенствованием технологии изготовления и ремонта его основных деталей и узлов, но и в значительной мере комплексов методов, направленных на анализ их технологического состояния. Наиболее повреждаемым узлом авиационного двигателя является турбина, а именно рабочие и соевые лопатки, изготовленные из жаропрочных сплавов на никелевой основе.

Жесткие условия работы, связанные с воздействием на лопатки высоких температур и переменных напряжений, вызывают необратимые структурные изменения, ухудшающие их эксплуатаци-

онные характеристики и приводящие к снижению ресурса работоспособности турбин. Одним из показателей качества материала лопаток является количество морфологии γ' -фазы в никелевых сплавах, определяемая прямым методом металлографии.

Существующий метод контроля структурного состояния материала лопаток имеет ряд недостатков.

Во-первых, метод контроля является разрушающим, так как микроструктура изучается на шлифах, вырезанных из наиболее «горячего» сечения лопатки.

Во-вторых, метод является субъективным, так как состояние структуры сравнивается с фотоэталонами и зависит от опыта исследователя.

Канд. техн. наук В.Н. Заваркиным в качестве показателя комплексной структуры повреждаемости лопаток из жаропрочных никелевых сплавов равноосной кристаллизации предложено использовать упругую характеристику материала – эффективный модуль Юнга. Им установлена зависимость между условиями нагрева сплава ЖС6У и эффективным модулем Юнга.

Получена регрессионная зависимость для определения эффективного модуля Юнга в зависимости от изменения микроструктуры лопаток после различных режимов эксплуатационных нагревов, а также разработана методика по совершенствованию оценки структурной повреждаемости материала лопаток турбин, в основе которой лежит зависимость между эффективным модулем Юнга, структурой и частотой собственных колебаний. При этом показана необходимость обязательного учета величины поврежденной зоны.

Следует отметить работы кандидатов техн. наук М.А. Прокофьева и М.В. Тимофеева. Их работы посвящены поиску способов достижения показателей качества поверхностного слоя деталей машин, которые определяют работоспособность изделия при его эксплуатации. Явление пластической деформации изучено на основе физики процесса с использованием основных положений теории дислокации.

В ходе анализа существующих и собственных экспериментальных исследований получены данные, позволившие обнаружить закономерности изменения скрытой энергии деформации в зависимости от различных факторов. В результате исследований сформулирован энергетический критерий



рий, на основе которого разработаны научно обоснованные практические рекомендации по назначению режимов обработки.

В работе канд. техн. наук С.А. Волкова рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением заданных эксплуатационных свойств деталей и их соединений посредством функционально-технологической оптимизации процесса изготовления с учетом экономической целесообразности. Им разработаны теоретические положения для создания автоматизированной системы функционально-технологической оптимизации процессов изготовления деталей, позволяющие на стадии технологической подготовки производства учесть требуемые, исходя из условий функционирования изделия, эксплуатационные свойства деталей и их соединений с учетом технико-экономических показателей процесса обработки. Разработаны алгоритмы и программные продукты для создания комплексной системы автоматизации технологической подготовки производства.

К числу наиболее острых проблем, возникающих при осуществлении процесса резания в автоматизированном производстве, относится проблема прогнозирования и управления формообразованием стружки. Стружка, неблагоприятная с точки зрения ее удаления из зоны резания и от станка, является фактором, резко снижающим эффективность и надежность автоматизированной механической обработки, а в ряде случаев, ставящим под сомнение саму возможность автоматизации и роботизации производства.

При обработке пластичных материалов не всегда удается организовать даже многостаночное обслуживание станков с ЧПУ, не говоря уже о малолюдной технологии в ГПС. Образование неблагоприятной формы стружки приводит к снижению стойкости инструмента и качества обработанной поверхности детали, является причиной аварий и поломок инструмента, препятствует механизации вспомогательных процессов уборки и транспортировки стружки, снижает эффективность ее вторичной переработки.

В условиях автоматизированного производства форма стружки выступает как важный диагностический признак, характеризующий состояние процесса резания и надежность технологической сис-

темы в целом. Проблема отличается своей общностью и актуальна для большинства металлообрабатывающих предприятий. Решению этой проблемы посвящена работа д-ра техн. наук С.В. Михайлова, выполненная под научным руководством автора.

С.В. Михайловым разработана физически обоснованная математическая модель формообразования стружки, позволяющая осуществлять прогнозирование и управление формой и направлением схода стружки с инструмента, оценивать возможности и пути получения дробленой стружки, определять оптимальные условия резания инструментом со стружкозавивающими элементами, проектировать новые конструкции инструментов повышенной работоспособности с улучшенным отводом стружки из зоны резания. Обоснована физическая природа и вскрыт механизм пространственного формообразования стружки при резании инструментом с плоской и криволинейной передней поверхностью как результат неоднородных пластических деформаций срезаемого слоя материала.

Разработаны математические модели необходимых и достаточных условий для обеспечения стабильного стружкодробления при обработке пластичных металлов и сплавов, методика расчета оптимальных условий резания с учетом получения благоприятной формы стружки, способ получения плотноупакованной в рулоны стружки, осуществлено моделирование необходимых и достаточных условий для его реализации.

На основе теории формообразования стружки разработана автоматизированная система прогнозирования формы стружки, позволяющая осуществлять выбор оптимальных режимов резания и конструкций инструментов на стадии разработки или совершенствования технологического процесса механической обработки, проектировать новые формы стружкозавивающих поверхностей инструмента.

Существенный вклад в научные исследования, связанные с технологической подготовкой производства, внесли доктора техн. наук Т.Д. Кожина, Л.Б. Уваров, В.Н. Шишгин, кандидаты техн. наук В.Н. Крылов, И.Д. Юдин, В.Н. Корытов, С.П. Кузнецов, О.В. Виноградова, выполнившие исследования под руководством автора.



**А.Н. Семенов, д-р техн. наук (Рыбинская государственная
авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)**

Методология системного подхода к проектированию сборки высокотехнологичных изделий*

Доказывается необходимость системного подхода при сборке изделий машиностроения с жесткими требованиями к точности выходных параметров и надежности. Рассмотрена взаимосвязь выходных параметров с входными воздействиями на сборочном этапе производства.

The necessity of system approach when in use machinery constructions assembly with close requirements to accuracy of output parameters and reliability have been proved. Interconnection with input influences on the assembly step of a manufacture have been considered.

Ключевые слова: системный подход, высокотехнологичное изделие, входное воздействие, выходной параметр.

Key words: system approach, high-technology production, input influence, output parameter.

Основные проблемы в производстве высокотехнологичных изделий машиностроения, характеризуемых высоким уровнем заявленных технических параметров и надежности, как правило, возникают в процессе сборки. В большинстве случаев сборочную проблематику определяют особенностями взаимодействия деталей и во многом она обусловлена недостаточным вниманием технологов к закономерностям образования сборочных связей между деталями.

В настоящее время в технологии машиностроения для описания этих связей в конструктивных и технологических сборочных образованиях используют теорию базирования. Теория основана на представлениях теоретической механики о пространственной ориентации абсолютно твердых тел, которая осуществляется ограничением их перемещений с помощью присоединяемых идеальных стержней.

В процессе сборки между базовыми поверхностями деталей образуются совершенно реальные

контактные связи, обеспечивающие восприятие эксплуатационных нагрузок, но не гарантирующие строгой пространственной ориентации деталей в силу податливости материалов и их поверхностных слоев. Количество мест фактических контактов в каждом из стыков деталей, образующих сборочные связи, чрезвычайно велико, что означает нарушение принципов классической механики и технологической теории базирования о минимально необходимом и достаточном их количестве.

Любое увеличение количества даже идеализированных структурных связей, являющихся равнодействующими контактных связей по любой из базовых поверхностей, сверх числа уравнений статики, которые обеспечивают расчет реакций этих связей по законам статики, приводит к появлению так называемой статической неопределенности механической системы. В таких ситуациях реакции механических систем на любые внешние воздействия становятся трудно прогнозируемыми, что приводит к трудностям с обеспечением точности выходных параметров, а в конечном итоге *повышает интенсивность отказов, снижает работоспособность и качество функционирования машин, особенно при высоком уровне надежностных и точностных требований.*

Основными причинами формирования избыточных механических связей являются **одновременное использование нескольких базовых поверхностей любой детали и силовое замыкание в узлах**. Они предопределяют высокую степень статической неопределенности деталей в узлах и механизмах, критическую зависимость их функциональных параметров от точности изготовления, качества сборки и условий эксплуатации.

Поскольку сборочная теория базирования в технологической науке не имеет необходимого развития, сборка таких изделий осуществляется методом проб и ошибок, отличается высокой трудоемкостью, значительной зависимостью от субъективных факторов и приводит к значительному разбросу функциональных параметров и характеристик надежности.

* Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева.

Оценка роли и влияния сборочных связей, образующихся при соединении деталей, на работоспособность узлов показывает, что **качество сборки можно существенно повысить управлением процессом их создания**, снижающим долю их негативных реакций с помощью технологических воздействий. Однако этот путь требует познания закономерностей образования связей в стыках деталей и разработки методологического подхода.

Ключом к раскрытию причинно-следственных связей между процессами сборки и эксплуатации высокотехнологичных изделий машиностроения является использование принципов системного подхода к проектированию заключительной стадии производства – сборки.

С системных позиций проблемы проектирования, изготовления и сборки изделий с высоким уровнем функциональных параметров выступают в единстве как комплексная задача анализа и синтеза, оценки и оптимизации многих факторов. Для решения комплексных задач необходимо использование методологии **системного подхода**, который может помочь познанию частей на основании целого и целостности, в отличие от **классического подхода**, ориентированного на познание целого через части. В этом аспекте любое изделие машиностроения, независимо от конкретного исполнения, можно рассматривать как техническую систему, образованную множеством компонентов.

Системные объекты, какими являются любые сборочные образования, разделяют на совокупность более простых, взаимосвязанных и взаимовлияющих составных частей, обладающих целостным характером функционирования. Поэтому сборочные образования обладают новыми свойствами, которых нет у деталей и узлов, и которые не сводятся к сумме их индивидуальных свойств.

Сборочные образования, как и процессы проектирования сборки, являющиеся техническими системами, обладают входными и выходными каналами взаимодействия со средой. Условно эти технические системы можно обозначить: T_s^c – сборочная единица, T_s^p – сборочный технологический процесс.

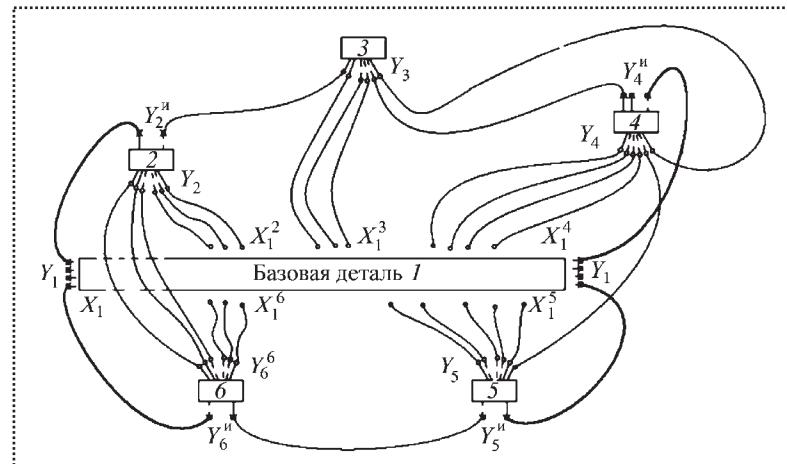
Любая из технических систем может состоять из подсистем и элементов, поэтому уровень дискретизации их анализа должен определяться потребностями исследова-

ний. Так узел, как объект сборки, может рассматриваться в качестве сложной системы, состоящей из N сложных составных частей (1-го, 2-го, ... i -го) порядка и деталей.

Создание структурного и функционального единства количества S узлов как сборочных систем T_s^c основано на формировании внутренних короткозамкнутых связей H между базирующими поверхностями после соединения всех составных частей. Поэтому функциональные свойства сборочной системы Z проявляются через качество выходных связей Y_i (см. рисунок), которое непосредственно отражает условия образования и свойства контактных связей между поверхностями стыков.

Для удобства анализа условий базирования деталей целесообразно использовать более высокий уровень абстрагирования, рассматривая вместо контактных связей их равнодействующие по каждой из базирующих поверхностей – сборочные структурные связи, которые обеспечивают устойчивость положения любой из этих баз.

Избыточные структурные связи, образующиеся при силовом замыкании сборочной единицы между деталями 2, 4, 5, 6, присоединяемыми к базовой детали 1, на рисунке выделены более жирными линиями. Избыточные связи, т.е. превышающие минимально необходимое число 6 для каждой детали, могут непосредственно влиять на выходные связи Y_i i -го узла через изменение напряженно-деформированного состояния базовой детали, последствия



Структура связей сборочной технической системы с избыточным базированием деталей:

1–6 – номера деталей; Y_i – выходные связи; X – входные связи; Y_i^u – избыточные связи



чего будут определяться степенью принуждения деталей к их образованию.

Например, в случае сборки роторных узлов реакции этих "лишних" связей приводят к многоплоскостному искривлению оси вала, проявляющемуся в виде торцовых и радиальных биений исполнительных и базовых поверхностей, появлению наведенных дисбалансов. Уровень этих проявлений негативных реакций характеризует качество выходов Y_i и может иметь достаточно большую дисперсию, что отражается как малая воспроизводимость результатов сборочных процессов.

Множество входов и выходов сборочных элементов (системообразующей детали E^s и присоединяемых к ней деталей E^r) составляет внутреннюю часть системы T_s^c , в которой сборочные связи между элементами записываются в виде $x_s^r = y_r^s$. Аналитическая схема этих связей может быть представлена матрицей S_{rs} размером $n \times m$, в которой число n строк соответствует количеству присоединяемых деталей, а число m столбцов определяется количеством структурных связей между базирующими поверхностями. В случае статической определимости детали в сборочной системе $m \leq n$, а при наличии избыточных связей $m > n$. Соответственно элементами матриц могут быть числа 1 или 0.

Поскольку контактные связи могут существовать только в единстве "вход – выход", при сборке относительно базирующей детали образуется замкнутая цепь связей, которая отражается системой векторных равенств:

$$\begin{aligned} x_1^2 &= S_{12}y_2^1; \\ x_1^3 &= S_{13}y_3^1; \\ \dots & \\ x_s^k &= S_{sr}y_r^s, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_s^k – входы базирующей детали по отношению к выходам присоединяемой детали;

y_r^s – выходы присоединяемой детали, образующие структурные связи с базирующей деталью.

Аналогичные цепи могут возникать в случаях, когда детали сборочных единиц низшего уровня используют в качестве базовых деталей для сборочных единиц более высокого порядка, т.е.

$$\begin{aligned} x_2^3 &= S_{23}y_3^2; \\ x_2^4 &= S_{24}y_4^2; \\ \dots & \\ x_r^l &= S_{rl}y_l^r. \end{aligned} \quad (2)$$

Структурные связи большой сборочной системы могут быть описаны матрицей состояния базирующей детали с субматрицами S_{rs} :

$$S = \begin{vmatrix} 0 & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & 0 & \dots & S_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & 0 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Эта матрица отображает особенности образования связей базовой детали узла с k составными частями первого уровня и l составными частями второго уровня, которые образуют непосредственные связи с базирующей деталью. Общее число составных частей $N = k + l$. Использование матричного метода позволяет определить степень избыточности как составных частей, так и всего изделия, составить число и расположение "лишних" связей с характером негативных последствий для сборочного процесса и эксплуатации.

На основе системного анализа конструкторской документации выявляются функционально значимые части изделия, для которых разрабатываются схемы базирования деталей, определяются основные и вспомогательные базы деталей с избыточным базированием и их взаимосвязи.

В основу процесса положен принцип критического влияния составной части низшего уровня на функционирование вышестоящего образования или всего изделия, в результате чего принимается решение о способах преодоления негативных последствий от реакций избыточных связей. Условия эксплуатации, а также интенсивность рабочего цикла изделий могут учитываться при прогнозировании характера последствий и их влияния на изменения функциональных свойств и выходных характеристик.

Общим путем снижения негативных последствий от наличия избыточных связей является технологическое согласование стыков сопрягаемых деталей, что независимо от способа осуществления означает достижение максимальной однородности напряженно-деформированного состояния материала в окрестности каждой единичной связи.



Такой подход к технологии сборки позволяет связать эксплуатационные показатели изделий с внутренним состоянием их компонентов, поскольку неконтролируемое образование контактных связей между базовыми поверхностями вызывает рассеяние основополагающего системного компонента сборочного образования – энергетического.

Особенно важна та его составляющая, которая проявляется в переходе внешней энергии, прикладываемой к деталям в процессе сборки при использовании силового замыкания, в потенциальную энергию составных частей и изменении их внутреннего состояния. В объеме деталей и в поверхностном слое возникают внутренние напряжения.

Динамические нагрузки, особенно интенсивные на переходных и резонансных режимах работы, могут существенно повышать энергетический уровень элементов механической системы, увеличивая интенсивность отказов. В этих условиях ос-

новными технологическими решениями при сборке могут являться традиционные способы компенсации, основанные на учете индивидуальных геометрических показателей деталей, либо способы управляемой сборки, позволяющие обеспечить безусловное достижение функциональных характеристик и надежность.

Выход

Системный подход является обязательным при сборке изделий машиностроения, для которых характерны жесткие требования к точности выходных параметров и надежности. Для обеспечения стабильности качества подобных изделий необходимо руководствоваться не только "геометрическим подходом" к обеспечению точности выходных параметров, а в комплексе рассматривать совокупность выходных параметров любой физической природы через их взаимосвязь с входными воздействиями на сборочном этапе производства.

Внимание!

В последнее время участились случаи контрафактно изданных журналов нашего издательства с нарушением технических стандартов полиграфии.

Нередко покупателями некачественных изданий становятся бюджетные организации, заключившие договор с недобросовестными поставщиками в результате тендера.

ООО "Издательство Машиностроение" обладает исключительными правами на выпуск и реализацию своих периодических изданий, поэтому для оформления подписки у нас не требуется участие в тендерах. Издательство предоставляет все документы, которые необходимы государственным учреждениям.

Издательство "Машиностроение" предоставляет журналы по минимальной отпускной цене.

Постоянным подписчикам предоставляет скидку – 3 %.

Ежемесячная отправка заказной бандеролью осуществляется за счет издательства.

Приглашаем Вас оформить подписку на журналы издательства "Машиностроение" в отделе продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Строгановский пер., д. 4

Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98. Факс (499) 269-48-97.

e-mail: realiz@mashin.ru. www.mashin.ru.

Обращайте внимание на качество журналов, получаемых по подписке!

Издательство не несет ответственности за низкое качество журналов, приобретенных у недобросовестных поставщиков, и не принимает их к обмену.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 621.757

Д.С. Воркуев, канд. техн. наук (ОАО "Завод им. В.А. Дегтярёва", г. Ковров)

Обоснование условий надежного снятия разрезных резьбовых кулачков с завинченных шпилек при групповой автоматизированной сборке

Доказаны условия, при которых обеспечивается снятие без повреждения резьбы шпилек разрезных резьбовых кулачков при автоматизированной сборке.

Conditions for safe removal of split threaded cams without damaging the pin threads in the process of automated assembly have been demonstrated.

Ключевые слова: завинчивающее устройство, резьбовой кулачок, шпилька, сборка, автоматизация.

Key words: screwing unit, threaded cam, pin, assembly, automation.

В сборочном производстве в завинчивающих устройствах шпилек применяют три разновидности патронов для удержания шпилек.

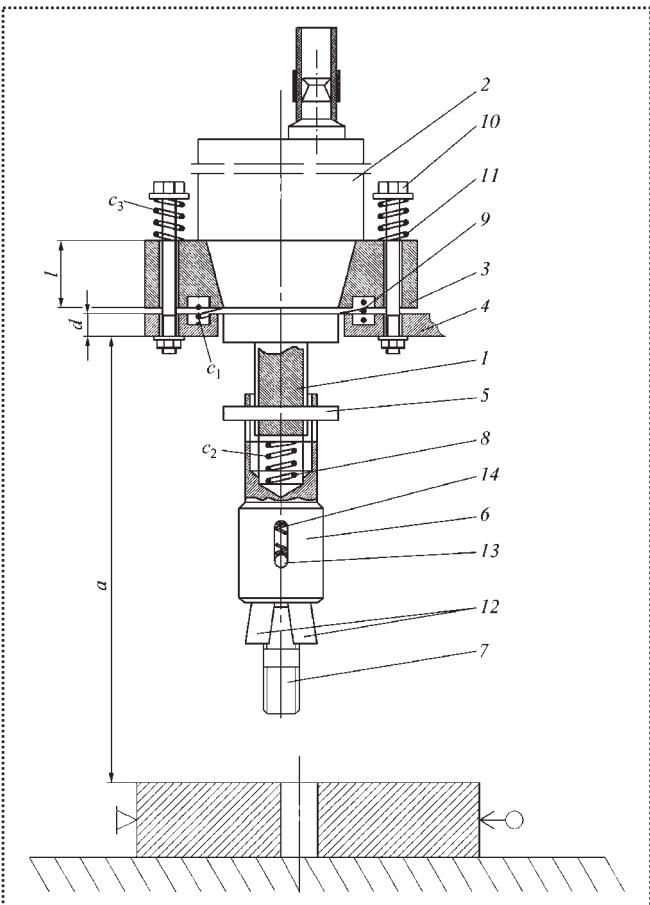
Конструкция первой разновидности патрона основана на эксцентриковом зажиме и удержании шпильки за ее нерезьбовую часть. Недостаток таких патронов – возникновение перекоса шпильки относительно корпуса патрона и связанные с этим неприятности при завинчивании.

Вторая разновидность патрона представляет собой втулку с резьбой на внутренней поверхности и обеспечивает удержание шпильки за резьбовую часть. Недостатками этой разновидности патронов является значительное вспомогательное время, связанное с предварительным ввинчиванием шпильки в патрон перед ее установкой в корпусную деталь, необходимостью реверсивного вращения у шпинделя завинчивающего устройства и вывинчиванием патрона с завинченной шпилькой.

Третья разновидность – патроны с разрезными резьбовыми кулачками, которые не нужно навинчивать на второй резьбовой конец шпильки и свинчивать после завинчивания шпильки в корпусную деталь.

На рисунке изображен шпильковерт 2 с закрепленным к нему фланцем 3. Между фланцем 3

шпильковерта и плитой 4 исполнительного органа сборочного устройства расположена витая цилиндрическая пружина 9. Через отверстия плиты 4 и фланца 3 с зазором проходят поджатые пружинами 11 болты 10. Совокупность пружин 9, 11 и болтов 10 обеспечивает угловую и радиальную податливость шпильковерту в процессе предварительной доориентации соединяемых резьбовых деталей и их сборки. К шпинделю 1 шпильковерта штифтом



Завинчивающее устройство с разрезными резьбовыми кулачками:
 c_1, \dots, c_3 – жесткости пружин; l – толщина фланца 3; d – толщина плиты 4; a – расстояние от торца плиты 4 до поверхности собираемого узла



5 крепится патрон 6 с разрезными резьбовыми кулачками 12, которые соединены шарнирно штифтом 13 и поджаты пружиной 14. Для обеспечения автономной подачи шпилек 7 в процессе их завинчивания патрон скользит по шпинделю за счет наличия на нем пазов под штифт и пружины 8, упирающейся, с одной стороны, в шпиндель, а с другой – в патрон.

Шпилька 7 удерживается в патроне за резьбовую часть.

В тех случаях, когда при завинчивании шпилек используют патроны с разрезными резьбовыми кулачками, удерживающие их за резьбовую часть, после сборки в месте захвата кулачков возникает осевая сила затяжки, не позволяющая без приложения значительных сил снять резьбовые кулачки.

При одновременном завинчивании нескольких шпилек из-за отклонения от перпендикулярности осей шпилек к плоскости узла даже после приложения значительных сил не удается одновременно и без повреждений резьбы шпилек снять кулачки после операции сборки.

Практика показала, что кулачки снимаются одновременно и без повреждения резьбы шпильки, если их "сдергивать", т.е. исполнительный орган завинчивающего устройства в момент снятия кулачков должен быть как-то ускорен.

В начальный момент отвода исполнительного органа от узла под действием силы пневмоцилиндра и пружин патронов система поднимется на величину перемещения патрона по шпинделю завинчивающего устройства до жесткого упора штифта 5. Следовательно, система может получить начальную скорость в момент снятия кулачков. Далее перемещению будут препятствовать не только сила тяжести завинчивающего устройства, но и реакции в сопряжении резьбы шпилек и разрезных кулачков, равные их осевым силам затяжки.

Найдем требуемую скорость "сдергивания" кулачков патронов со шпилек. В момент сдергивания на движущуюся систему действуют силы пневмоцилиндра и пружины патронов, а противодействуют силы тяжести системы и осевые силы затяжки в сопряжении резьбы шпильки и резьбовых кулачков.

Воспользуемся принципом Даламбера для движущейся механической системы и найдем соотношения сил, при которых будет обеспечена надежность "сдергивания":

$$\begin{aligned}\sum \bar{F}_j^e + \sum \bar{R}_j + \sum \bar{F}_j^{in} &= 0; \\ \sum \bar{M}_j^e + \sum \bar{M}_j^R + \sum \bar{M}_j^{in} &= 0,\end{aligned}\quad (1)$$

где $\sum \bar{F}_j^e$, $\sum \bar{M}_j^e$ – векторная сумма внешних сил и моментов, действующих на систему соответственно;

$\sum \bar{R}_j$, $\sum \bar{M}_j^R$ – векторная сумма реакций и моментов от реакций связей соответственно;

$\sum \bar{F}_j^{in}$, $\sum \bar{M}_j^{in}$ – векторная сумма сил инерции и моментов сил инерций, возникающих в процессе торможения системы.

Спроецируем действующие силы на вертикальную ось:

$$F_n + nF_{np} - G_1 - nQ_3 + F^{in} = 0, \quad (2)$$

где $F_n = \frac{k\pi(D^2 - d^2)}{4}[p]$ – сила, развиваемая пневмоцилиндром;

k – коэффициент запаса;

D – диаметр поршня;

d – диаметр штока;

$[p]$ – давление сжатого воздуха в магистралях;

n – число завинчиваемых шпилек;

$F_{np} = ca_1$ – сила пружины патрона;

c – жесткость пружины;

a_1 – остаточная величина деформации пружины;

Q_3 – осевая сила затяжки, не позволяющая кулачкам патрона раскрываться;

$F_{in} = MW_t$ – сила инерции;

$M = \frac{G_1}{g}$ – масса движущихся частей системы;

G_1 – сила тяжести движущихся частей системы;

g – ускорение свободного падения;

$W_t = \frac{dv}{dt}$ – тангенциальное ускорение (замедление);

v – скорость в момент времени t .

Осевую силу затяжки шпильки находят из соотношений:

$$Q_3 = F_{np} + A = c(a_1 + 1,5h)\cos(\alpha/2)\cos\psi + \\ + 1,2\left[\frac{5}{16}\frac{Hl_c}{P} - 1,2(R_1 + R_2)\right]\frac{10}{8}\left(\frac{H}{\cos(\alpha/2)}\right), \quad (3)$$

где A – сила запрессовки;

h – длина резьбы шпильки, ввинчиваемой в узел (дополнительная деформация пружины);



α – угол профиля резьбы;
 ψ – угол подъема винтовой линии резьбы;
 H – величина неполной высоты профиля резьбы;
 l_c – длина сбега резьбы шпильки;
 P – шаг резьбы;
 R_1, R_2 – высота микронеровностей сопрягаемых поверхностей резьбы.

Для обеспечения сдергивания кулачков необходимо, чтобы как минимум выполнялось условие:

$$F_n > nQ_3. \quad (4)$$

Выражение позволяет определить параметры пневмоцилиндра.

Окончательно запишем требуемое ускорение, при котором обеспечено надежное "сдергивание" кулачков:

$$W_t = g - \frac{nca_1g}{G_1}. \quad (5)$$

Считая процесс движения системы в момент "сдергивания" кулачков равнозамедленным, имеем соотношения

$$S = \frac{W_t t^2}{2}, \quad v_t = W_t t, \quad (6)$$

где S – длина пути торможения при сдергивании;

t – время торможения;

v_t – скорость в момент начала торможения.

Из выражений (5) и (6) находим минимальную скорость разгона системы до момента сдергивания

$$v_t = \sqrt{2S\left(g - \frac{nca_1g}{G_1}\right)}. \quad (7)$$

Проверим, может ли разогнаться система до момента сдергивания с требуемой скоростью v_t .

Воспользуемся теоремой о движении центра масс механической системы:

$$M\bar{W}_n = \Sigma \bar{F}_j^e,$$

где \bar{W}_n – ускорение центра масс системы.

Итак, на систему действуют силы

$$-F_n = nQ_3; \quad G_1; \quad R_c = b\dot{x}; \quad F_{np} = c_1(a_1 - x),$$

где b – коэффициент вязкого трения;

\dot{x} – скорость движения системы;

R_c – сила вязкого сопротивления.

В проекции на ось, направленную по движению системы, получим

$$\frac{G_1}{g} \ddot{x} = \frac{k\pi(D^2 - d^2)}{4} [p] + nc(a_1 - x) - G_1 - b\dot{x}, \quad (8)$$

где \ddot{x} – проекция ускорения на вертикальную ось.

После преобразований уравнения (8) получим

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + k^2 x = A, \quad (9)$$

где $2n = \frac{b}{M}$;

$k^2 = \frac{nc}{M}$ – круговая частота колебаний системы;

$$A_1 = k^2 a + \frac{k\pi(D^2 - d^2)}{4M} [p] - g.$$

Для случая $n > k$ при нулевых начальных условиях движения решение уравнения (8) записывается:

$$x = \frac{A}{k^2} \left[e^{-nt} \left(\frac{n}{2k^*} - \frac{1}{2} \right) e^{-k^*t} + e^{-mt} \left(\frac{n}{2k^*} + \frac{1}{2} \right) e^{k^*t} + 1 \right];$$

$$\dot{x} = v = \frac{A}{k^2} e^{-nt} \left[n \left(\frac{n}{2k^*} + \frac{1}{2} \right) e^{k^*t} - n \left(\frac{n}{2k^*} - \frac{1}{2} \right) e^{-k^*t} - k^* \left(\frac{n}{2k^*} + \frac{1}{2} \right) e^{k^*t} - k^* \left(\frac{n}{2k^*} - \frac{1}{2} \right) e^{-k^*t} \right],$$

(10)

где k^* – круговая частота с учетом сопротивления системы.

Качественное сдергивание резьбовых кулачков с завинченных шпилек будет обеспечено при условии

$$v > v_t,$$

которые находят из выражений (7) и (10).

Вывод

Доказаны условия надежного снятия разрезных резьбовых кулачков с завинченных шпилек при групповой автоматизированной сборке.



В.Г. Шуваев, канд. техн. наук, В.А. Папшев, канд. техн. наук, И.В. Шуваев, канд. техн. наук
(Самарский государственный технический университет)

Ультразвуковой инструмент для сборки и разборки резьбовых соединений

Рассмотрены вопросы применения ультразвуковых колебаний для повышения эффективности сборки и разборки резьбовых соединений. Приведена конструкция разработанного ультразвукового инструмента, в котором более полно используют ультразвуковую энергию при операциях сборки-разборки соединений.

The problems of ultrasonic vibrations application for efficiency increase of assembling and disassembling of threaded connections are being discussed. The worked out ultrasonic tool structure is given here. In this tool ultrasonic energy is used more efficiently in the assembling-disassembling connections procedures.

Ключевые слова: сборка, разборка, резьбовое соединение, ультразвуковые колебания, эффективность.

Key words: assembling, disassembling, threaded connection, ultrasonic vibrations, efficiency.

Широкое применение резьбовых соединений в технике обусловлено возможностью создания больших осевых сил сжатия деталей при небольшой силе, приложенной к ключу, удобными формами и малыми габаритами резьбовых деталей и взаимозаменяемостью резьбовых деталей в связи со стандартизацией резьб.

В процессе сборки резьбовых соединений рабочий момент, прикладываемого к болту, распределяется на полезную работу создания силы предварительной затяжки, на работу по преодолению сил трения в резьбе и в поверхностях контактирования головки болта и гайки с собираемыми деталями. Момент M_{kp} затяжки резьбового соединения (крутящий момент) может быть определен из выражения [1]:

$$M_{kp} = Q_3 \left\{ \frac{d_2}{2d} \left[\frac{P}{\pi d_2} + \frac{\mu_p}{\cos(v/2)} \right] d + \frac{\mu_t (D_t^3 - D_1^3)}{3(D_t^2 - D_1^2)} \right\},$$

где Q_3 – сила затяжки;

d_2 – средний диаметр резьбы;

d – диаметр резьбы болта;

P – шаг резьбы;

μ_p – приведенный коэффициент трения в резьбовой паре;

v – угол профиля резьбы;

μ_t – приведенный коэффициент трения по торцу диаметром D_t головки болта, винта или гайки;

D_1 – внутренний диаметр резьбы гайки.

Приведенное выражение характеризует многофакторную зависимость между моментом на ключе гайковерта и силой затяжки, которая в значительной мере изменяется из-за колебаний приведенных коэффициентов трения μ_p и μ_t , которые зависят от давления, качества и состояния сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, их покрытия и смазочного материала, скорости завинчивания, жесткости деталей и других показателей.

Исследования показали [1], что до 90 % работы момента на ключе расходуется на преодоление сил трения и только 10 % затрачивается на полезное формирование силы затяжки. Соответственно, чем меньше коэффициент трения, тем меньшая часть работы расходуется на преодоление сил трения и тем большая ее часть расходуется на создание силы предварительной затяжки.

Процесс сборки и эксплуатации резьбовых соединений выдвигают противоречивые требования к коэффициенту трения: в процессе сборки он должен быть минимальным, чтобы прикладываемая работа в основном шла на создание силы затяжки, а при эксплуатации резьбовых соединений коэффициент трения должен быть максимальным для обеспечения надежного силового замыкания соединяемых деталей и отсутствия самоотвинчивания.

Одним из путей преодоления указанного противоречия является применение ультразвуковых колебаний (УЗК) при сборке резьбовых соединений. Приложение УЗК при сжатии и растяжении материалов способствует снижению сопротивления пластической деформации, пределов текучести и прочности, причем наряду с объемным эффектом



введение ультразвука в зону контакта существенно влияет на характер и основные показатели фрикционного взаимодействия соединения.

Механизм воздействия УЗК на силы трения заключается в изменении кинематических условий контактирования поверхностей, а также в изменении характера напряженного состояния металла в зоне трения. Установлено, что в зависимости от схемы подведения колебаний при оптимальных амплитудах и от величины удельных нагрузок коэффициент трения снижается в 2–4 раза [2].

В то же время приложение УЗК к соединению в процессе его разборки способствует разрушению адгезионных и коррозионных связей в результате разрыва контакта между поверхностями и ведет к снижению момента развинчивания. Причем действие УЗК на металл является обратимым и в случае прекращения колебательных воздействий механические характеристики материала восстанавливаются.

Представленный ультразвуковой гайковерт относится к ручным переносным инструментам с силовым приводом, предназначенным для сборки и разборки резьбовых соединений, охваченных коррозией или расположенных в труднодоступных местах, а также может быть использован для механизации монтажных и механосборочных работ в различных отраслях промышленности.

Недостатком применяемых ультразвуковых гайковертов является низкая эффективность работы вследствие того, что для разборки резьбового соединения используют только половину ультразвуковой энергии, генерируемой пьезокерамическим преобразователем. Вторая же половина рассеивается в корпусе и в процессе сборки и разборки резьбового соединения не участвует. В связи с этим важной задачей является повышение эффективности работы ультразвукового инструмента за счет более полного использования ультразвуковой энергии при операциях сборки-разборки резьбовых соединений.

Для решения этой задачи разработан ультразвуковой гайковерт [3], который представлен на рисунке.

Ультразвуковой гайковерт состоит из пакетного пьезокерамического преобразователя 1, который

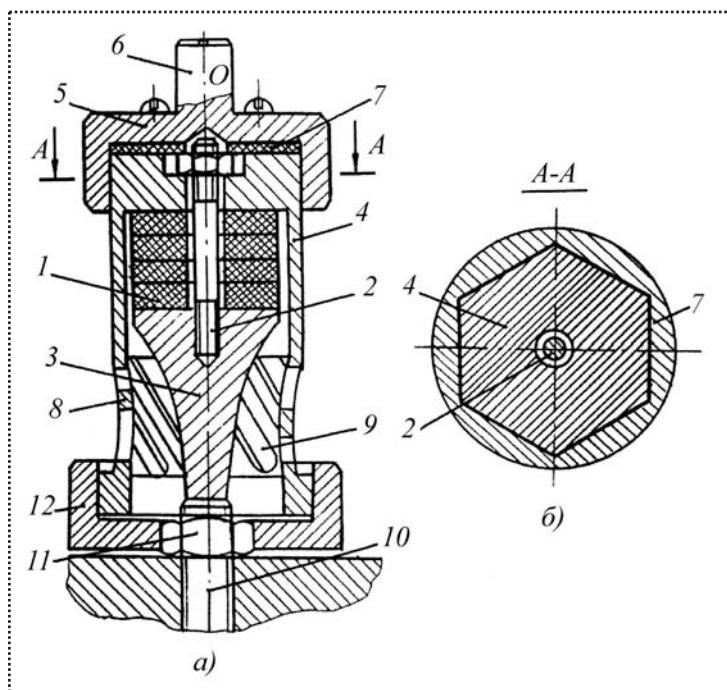


Рис. 1. Ультразвуковой гайковерт:
а – схема гайковерта; б – разрез по А–А

зажат при помощи шпильки 2 между стержнем-концентратором 3 и корпусом 4 с обоймой 5. На обойме расположен квадрат 6 для фиксации рукоятки (на рисунке не показана).

Для снижения уровня передаваемых на обойму 5 и рукоятку колебаний между торцом корпуса 4 и обоймы 5 размещена виброизолирующая шайба 7. Наружная боковая поверхность верхней части корпуса 4, а также внутренняя стенка обоймы 5 выполнены в форме многогранника. Нижняя часть корпуса 4 выполнена в виде торсиона 8, представляющего собой стакан с наклонными пазами 9 на его образующей, причем наклон пазов в ту или другую сторону определяет либо режим свинчивания резьбовых соединений, либо режим развинчивания. Рабочий торец стержня-концентратора 3 взаимодействует с болтом 10, а на гайку 11 надет специальный наконечник 12, внутренними гранями соединенный с нижней частью торсиона 8.

Ультразвуковой гайковерт работает следующим образом. При подаче с генератора (на рисунке не показан) напряжения синусоидальной формы и резонансной частоты на обкладки пакетного пьезокерамического преобразователя он, изменяя вследствие обратного пьезоэффекта свои геомет-



рические размеры, возбуждает механические колебания стержня-концентратора, корпуса и наконечника. При этом стержень-концентратор возбуждается одним торцом пакетного пьезокерамического преобразователя, а корпус и наконечник — вторым его торцом.

Будучи поджатым к торцу болта, стержень-концентратор передает на него предельное вибрационное воздействие. Продольные колебания второго торца пакетного пьезокерамического преобразователя передаются в виде волны деформаций на корпус. Вследствие того, что коэффициент отражения ультразвуковой энергии при переходе из среды в среду пропорционален разности плотностей этих сред, на границе корпус — виброзолирующая шайба происходит почти полное отражение ультразвуковой энергии от верхнего торца корпуса.

В результате осуществляется возбуждение колебаний нижней части корпуса и торсиона, наклонные пазы которого обеспечивают крутильные колебания нижней части торсиона и наконечника, который, взаимодействуя с гайкой, обеспечивает ее отворачивание или затяжку в зависимости от направления пазов. Для исключения демпфирования продольных колебаний верхней части корпуса его сопряжение с обоймой осуществлено по боковым граням, а винты крепления обоймы на корпусе размещены в зоне узловой линии нулевой амплитуды. Таким образом, *в разработанном устройстве для вибрационного воздействия на разбираемое резьбовое соединение используется почти вся ультразвуковая энергия, генерируемая пакетным пьезокерамическим преобразователем.*

Ультразвуковое устройство реализовано на основе пакетного пьезокерамического преобразователя, набранного из четырех шайб пьезокерамики типа ЦТС-19, причем четное количество электрически параллельно собранных шайб позволяет иметь на наружных обкладках пакетного пьезокерамического преобразователя одинаковый потенциал. Это исключает возможность короткого замыкания источника питания через элементы устройства и упрощает задачу электроизоляции обкладок преобразователя от стержня-концентратора и корпуса. Элементы конструкции устройства выполнены частично из высокоупругой стали 65Г и термообработанного дюралюминия Д16Т. Резонансная частота изготовления устройства равна 16750 Гц, а напряжение питания пакетного пьезокерамического преобразователя — 200 В.

Вывод

Применение разработанного устройства позволяет на 40...50 % повысить эффективность работы за счет более полного использования ультразвуковой энергии при сборке и разборке резьбовых соединений.

Библиографический список

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Технология сборки в машиностроении. Т. III—5 / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. 2006. 640 с.
2. Штриков Б.Л., Калашников В.В. Ультразвуковая сборка. М.: Машиностроение-1, 2006. 225 с.
3. Патент РФ на полезную модель № 73637. Ультразвуковой гайковерт / В.Г. Шуваев, В.А. Папшев, И.В. Шуваев, М.Б. Кузнецов. Опубликовано 27.05.2008. Бюл. № 15.

СБОРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЯ

А.Б. Тулинов, д-р техн. наук (РГУТИС)

А.Б. Гончаров, канд. техн. наук (ММК "Мосинтраст")

Исследование эксплуатационных характеристик анаэробных клеев и герметиков

Приведены результаты экспериментов по исследованию комплекса свойств анаэробных материалов. В результате испытаний получены эмпирические зависимости прочности соединений от масштабного фактора, вида испытуемых нагрузок, активности соединяемых материалов, времени полимеризации. Выявлены факторы, влияющие на прочность соединений, предложены методы расчета коэффициентов сцепления для различных марок анаэробных материалов. Определено влияние на прочность соединений теплофизических характеристик и установлены их предельные значения. Установлено, что демпфирующая способность анаэробных материалов учитывается с введением в них определенных наполнителей. Проведенные исследования расширяют возможности применения анаэробных материалов в сборочных соединениях.

The article presents the results of experiments dedicated to investigation of a set of properties of anaerobic material. The tests demonstrated empirical dependence of the joint efficiency on the scale factor, type of tested load, activity of materials to be bonded, polymerization time. The article reveals the factors affecting the joint efficiency, and proposes methodology for calculation of adhesion coefficient for various brands of anaerobic materials. It determines the impact of thermophysical properties on joint strength, and establishes their limiting values. It was established that the damping capacity of anaerobic materials is to be taken into account when certain filling compounds are added to them. The investigation extends the application of anaerobic materials in assembling.

Ключевые слова: клеевое соединение, адгезия, направление сдвига, резьбовое соединение, фланцевое соединение, анаэробные продукты, крутящий момент.

Key words: adhesive joint, adhesion, direction of displacement, threaded joint, flanged joint, anaerobic production, torsional.

Основным показателем любого соединения с применением анаэробных продуктов является прочность соединения, зависящая прежде всего от свойств выбранной марки анаэробного продукта и размеров соединяемых поверхностей. Поэтому

представляется возможным рассчитать необходимую прочность соединения на основе его заданных размеров и характера действия нагрузки и выбрать из широкого ассортимента анаэробных продуктов ту марку, которая обладала бы оптимальной прочностью для данных условий.

На прочность соединения, как было отмечено ранее, существенное влияние оказывает поверхность соединяемых деталей. *Понятие поверхность включает:*

- геометрическую поверхность, которая соответствует размерам соединяемых поверхностей;
- действительную поверхность, которая получается с учетом шероховатости;
- реальную поверхность, которая соответствует действительно смоченной анаэробным продуктом.

Увеличение поверхности за счет числа и высоты гребешков микронеровностей способствует ускорению процесса полимеризации, но до определенных пределов, так как наличие воздуха в глубоких впадинах будет замедлять процесс полимеризации и снижать прочностные показатели соединения.

В целях определения влияния шероховатости поверхности соединяемых деталей были проведены экспериментальные исследования на отечественных образцах анаэробных материалов.

Определение оптимальной шероховатости со прягаемых поверхностей проводилось на стандартных грибковых образцах (ГОСТ 14760–69) из материала АД-1 с покрытием (анодное оксидирование) и на образцах типа "вал–втулка" (высота втулки и диаметр равны 10 мм) из стали 45 с покрытием (химическое фосфатирование). Испытаниям подверглись анаэробные продукты:

- ♦ АН-1 и АН-2 – по критерию разрушающего напряжения при отрыве на грибковых образцах с учетом фактора времени;
- ♦ АН-2 и УГ-1 – по критерию разрушающего напряжения при сдвиге на образцах типа "вал–втулка" в исходном состоянии, т.е. по истечении 24 ч после сборки.

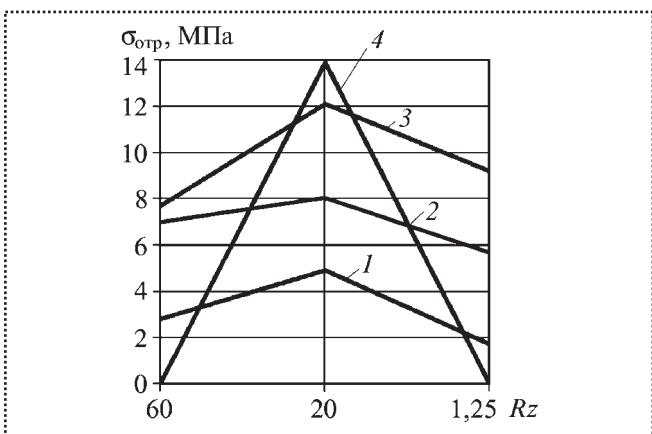


Рис. 1. Разрушающее напряжение $\sigma_{\text{отр}}$ при отрыве для грибковых образцов после 24 ч выдержки:

1 – АН-2 без активатора; 2 – АН-2 с активатором; 3 – АН-1 с активаторами; 4 – АН-1 без активатора

Грибковые образцы собирались до соприкосновения поверхностей с шероховатостями Rz 80, Rz 20, Rz 1,25, а образцы типа "вал–втулка" – с максимально возможными зазорами:

- для Rz 80 – 0,72 мм;
- для Rz 20 – 0,4 мм;
- для Rz 1,25 – 0,06 мм.

Сборка грибковых образцов производилась с активатором и без него, все образцы "вал–втулка" были собраны с применением активатора. Зависимость разрушающего напряжения $\sigma_{\text{отр}}$ при отрыве грибковых образцов от шероховатости сопрягаемых поверхностей представлена на рис. 1.

Результаты испытаний АН-1 и УГ-1 на образцах типа "вал–втулка" представлены на рис. 2. Здесь время представлено в логарифмической сетке. В результате проведенных испытаний установлено, что максимальная прочность соединений у образцов с шероховатостью поверхности Rz 20; на поверхностях с этой шероховатостью набор прочности происходит быстрее.

Анаэробным продуктам, как и другим полимерным материалам, свойственна неодинаковая прочность под действием различных видов нагрузки. На соединение действуют четыре основные вида нагрузки:

- сдвигающая (срезающая);
- растягивающая;
- растягивающе-срезающая с неравномерным отрывом.

Разрушающее напряжение при сдвиге $\sigma_{\text{сд}}^{\text{ст}}$ (МПа) характеризует прочность резьбового со-

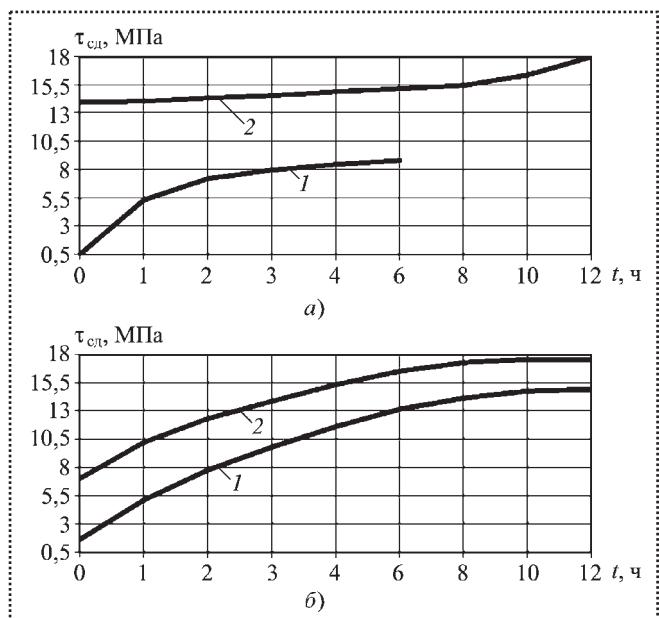


Рис. 2. Разрушающее напряжение $\tau_{\text{сд}}$ при сдвиге для образцов типа "вал–втулка" с учетом времени t полимеризации:

a – при шероховатости Rz 125; *б* – при шероховатости Rz 20; 1 – образцы с АН-1; 2 – образцы с УГ-1

единения в начальный период страгивания (отвинчивание) и рассчитывается по формуле

$$\sigma_{\text{сд}}^{\text{ст}} = \frac{M_c}{\pi d^2 H}, \quad (1)$$

где M_c – крутящий момент страгивания, Н·м;

d – средний диаметр резьбы, м;

H – высота гайки, м.

Разрушающее напряжение при сдвиге (трение) $\sigma_{\text{сд}}^{\text{тр}}$ характеризует прочность резьбового соединения при последующем отвинчивании (на один оборот) и определяется по среднеарифметическому моменту отвинчивания, полученному эмпирически с помощью тарировочного ключа, и определяется по формуле

$$\sigma_{\text{сд}}^{\text{тр}} = \frac{M_0}{\pi d^2 H}, \quad (2)$$

где M_0 – среднеарифметическое значение крутящего момента отвинчивания, измеренного при повороте гайки на углы 90, 180, 270 и 360°, Н·м.

Определение значений $\sigma_{\text{сд}}^{\text{ст}}$ и $\sigma_{\text{сд}}^{\text{тр}}$ производилось на стандартных резьбовых образцах (болт–гайка) по ГОСТ 5915–70 с резьбой M10×1,5 (см. рис. 2, *a*), изготовленных из стали 45. Использовался так-



же ключ с регулируемым крутящим моментом по ТУ 7068–54.

Прочность при срезе σ^u в цилиндрическом соединении определяли путем измерения момента M_c страгивания при отвинчивании (страгивании) втулки и рассчитывали по формуле

$$\sigma^u = \frac{M_c}{\pi D^2 l}, \quad (3)$$

где D – диаметр втулки, м;

l – длина контактируемых деталей.

Значения σ^u определялись на стандартных цилиндрических образцах типа "вал–втулка" с $d = 12,7$ мм, отношением $l/D = 0,8$, диаметральным зазором 0,05 мм, шероховатостью обработки поверхностей R_z 2,5, изготовленных из стали 1Х18Н9Т.

По прочности все марки анаэробных продуктов условно разделяют на три группы:

- ◆ высокопрочные;
- ◆ средней прочности;
- ◆ низкопрочные.

В зависимости от конструкционных признаков изделий анаэробные продукты могут образовывать *разборные* или *неразборные* соединения. При неразборном соединении разрушение происходит по основному материалу, например, скручивается головка болта.

Прочность соединения является *универсальным* и *комплексным* показателем. По изменению прочности соединения, измеренному в различных условиях, проводят оценку правильности выбора марки анаэробного продукта и влияния того или иного фактора. *Все факторы, влияющие на прочность соединения, условно можно разделить на три группы:*

- конструкционные;
- технологические;
- эксплуатационные.

Поскольку прочность соединений зависит от марки анаэробного продукта и конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов, то можно указать только на общие тенденции изменения прочности или привести результаты испытаний при определенных условиях и режимах. Отдельные параметры можно сравнить только в том случае, если при испытаниях используют одни и те же методы и условия.

Опытным путем была установлена тенденция к повышению прочности соединений с ростом прочности соединяемых материалов.

Однако это положение справедливо до определенных пределов, так как с ростом прочности соединяемых материалов связаны уменьшения показателей удлинения и возникновение неравномерных деформаций.

С другой стороны, деформация соединяемых материалов с большим удлинением может принять такие размеры, что будут превышены границы прочности сцепления анаэробного продукта и разрушение наступит раньше, чем у материалов с небольшим удлинением.

Для правильного назначения соединений необходимо учитывать и масштабный фактор, так как прочность соединения снижается с увеличением площади соединения. Поэтому для неразборных соединений необходимо стремиться к равенству напряжений в материале сопрягаемых деталей и в самом соединении.

Наиболее типичным примером соединения с учетом особенностей анаэробных продуктов является резьбовое соединение. Правильное назначение марки анаэробного продукта и прочность соединения зависят от конструкционных характеристик резьбового соединения:

- длины свинчивания;
- величины зазора;
- диаметра резьбы;
- сбега резьбы;
- материала и покрытия болта и собираемых деталей.

Особенно сложен выбор марки анаэробного продукта для разборных соединений резьб малых и средних диаметров (М2,5...М8), так как головки винтов и болтов таких соединений скручиваются при относительно малых крутящих моментах, а большинство анаэробных продуктов обеспечивают неразъемные соединения. Кроме того, при демонтаже соединения у винтов слабым звеном может оказаться шлиц, который разрушается раньше стержня.

Правильность выбора марки анаэробного продукта для резьбового соединения можно провести в зависимости от коэффициента сцепления

$$K_1 = H/d$$

и коэффициента прочности

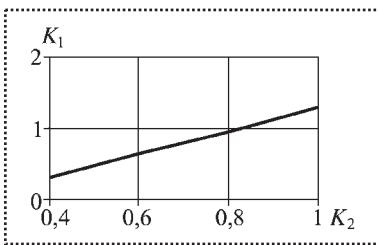


Рис. 3. Зависимость коэффициентов сцепления K_1 и прочности K_2 для резьбовых соединений с анаэробным продуктом АН-125Ц

$$K_2 = M_p / M_p,$$

где $M_p = W_p \sigma_{kp}$ – момент разрушения болта (винта), Н·м;

$W_p = 0,2d^3$ – полярный момент сопротивления при кручении, м³;

d_1 – внутренний диаметр резьбы болта, м;

$\sigma_{kp} = 0,32\sigma_b$ – допускаемое разрушающее напряжение при кручении материала болта (винта) МПа;

$\sigma_b = 340$ МПа – временное сопротивление разрушению для стали 10.

Для установления **степени разборности резьбовых соединений** размерами М2,5...М8 были взяты все длины болтов по ТУ 17805–70 и винтов и рассчитаны значения K_1 и K_2 для анаэробных продуктов АН-7, АН-10 и АН-125Ц с принятыми пределами разрушающего напряжения при сдвиге (трение) $\sigma_{cd}^{tr} = 1,2$ и 4 МПа соответственно. На основании проведенных расчетов в соответствии с приведенными формулами построены зависимости коэффициентов K_1 и K_2 , характеризующие прочность и разборность соединений (рис. 3).

О степени разборности можно судить по коэффициенту K_2 , изменяющемуся от 0 до 1,0. При $K_2 > 1$ соединение считают неразборным. На практике для разборных соединений принимают $K_2 = 0,1\dots0,3$. При этом соединение соответствует эксплуатационным требованиям. Так, резьбовое соединение М2,5 при $d = 2,2$ мм и длине нарезки резьбы $H_p = 4$ мм будет иметь $K_1 = 1,8$. Рассчитанный $M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м, а M_o равен $4,9 \cdot 10^2$, $1 \cdot 10^3$ и $2,4 \cdot 10^3$ Н·м соответственно для АН-7, АН-10 и АН-125Ц. При этих условиях соединение, выполненное на АН-7 ($\sigma_{cd}^{tr} = 1$ МПа), должно быть разборным, так как $M_o = 4,9 \cdot 10^2 < M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м; соединение АН-10 ($\sigma_{cd}^{tr} = 2$ МПа) – трудноразборным, так как $M_o = 1 \cdot 10^3 < M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м, и неразборным для АН-125Ц ($\sigma_{cd}^{tr} = 4$ МПа), так как $M_o = 2,4 \cdot 10^3 > M_p = 1,5 \cdot 10^3$ Н·м.

Хотя график на рис. 3 не учитывает ряда конструкционно-технологических факторов и колебаний разрушающих напряжений для различных марок анаэробных материалов, а также возможности их попадания под головку болта, он все же дает высокую вероятность (0,8...0,9) получения характеристики прочности и разборности соединений.

Прочность соединений во многом зависит также от размера зазора между соединяемыми поверхностями. При большом зазоре (не соответствующем вязкости анаэробного продукта) облегчается доступ воздуха (кислорода) в соединение и процесс полимеризации замедляется, легче срываются гребешки полимеризованного продукта при сдвиге, снижая прочность соединения.

Кроме того, при больших зазорах продукт может вытекать из соединения. Поэтому необходим выбор вязкости анаэробного продукта для соответствующего размера зазора в соединении.

Анаэробные продукты имеют вязкость $(10\dots30000) \cdot 10^{-3}$ Па·с и в зависимости от этого применяются как для прессовых посадок (натяг), так и для зазоров до 0,6 мм. На основании многочисленных экспериментов и испытаний можно сделать вывод, что прочность соединений существенно зависит от размера зазора. При среднем и минимальном зазорах все продукты имеют максимальный предел прочности, с увеличением зазора прочность снижается. Зависимость предела прочности от величины зазора представлена на рис. 4.

Как было отмечено ранее, использование активатора в соединениях с анаэробными продуктами способствует значительному ускорению достижения прочности соединений. На рис. 5 представлен график, показывающий общую тенденцию изменения прочности различных анаэробных продуктов от времени отверждения для образцов из латуни Л62, собранных с активатором и без него.

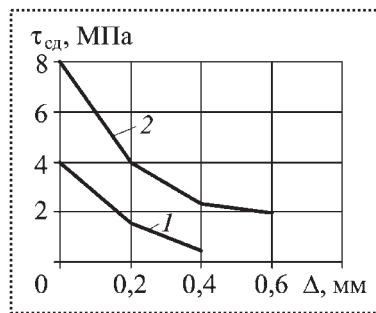


Рис. 4. Зависимость предела прочности τ_{cd} соединения на сдвиг от величины зазора Δ для различных марок анаэробных:

1 – без активатора; 2 – с активатором

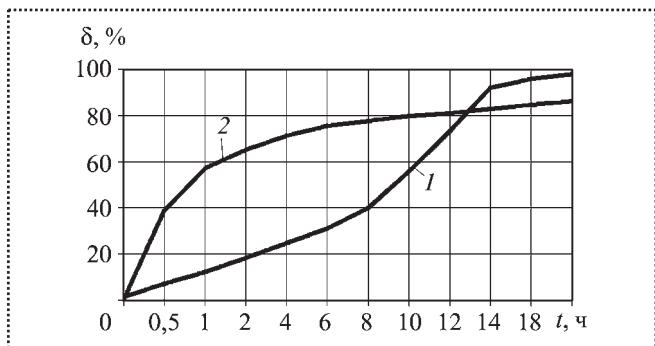


Рис. 5. Изменение прочности δ анаэробных продуктов в зависимости от времени t отверждения:

1 – без активатора; 2 – с активатором

Зависимость прочности от времени отверждения в случае применения активаторов (марок КС и КВ) была изучена для различных марок анаэробных продуктов на оцинкованных образцах типа "шпилька–гайка" с резьбой М10 кл.2 из стали 40, высота гайки $H = 8,0$ мм. Перед сборкой образцы обезжиривали бензином, после испарения которого резьбу увлажняли активатором марки КС и выдерживали на воздухе не менее 10 мин. Затем на 3–4 витка шпильки и гайки наносили анаэробный продукт и гайка заворачивалась на шпильку на длину 10...15 мм. Собранные образцы выдерживали в течение определенного времени, необходимого для полимеризации анаэробного продукта, и после этого тарировочным ключом определяли момент страгивания и отвинчивания через 90, 180, 270 и 360°.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что все анаэробные продукты в случае применения активатора имеют большее разрушающее напряжение при сдвиге (страгивании) $\sigma^{\text{ст}}$ в течение часа после сборки.

Как было установлено в процессе проведения экспериментов, на прочность соединений определенное влияние оказывают следующие теплофизические характеристики:

- ◆ коэффициенты теплопроводности и температуропроводности;
- ◆ удельная теплоемкость;
- ◆ коэффициент линейного расширения.

Теплопроводность анаэробных продуктов меньше, чем у большинства металлов, но больше, чем у воздуха, поэтому прослойка из анаэробного продукта улучшает теплопередачу собранного узла, так как эти продукты заполняют мельчайшие полости,

которые в противном случае действовали бы как теплоизоляция.

Коэффициент теплопроводности λ [Вт/(м·К)] характеризует способность материала проводить теплоту и зависит в основном от структуры анаэробных материалов. Скорость изменения температуры в теле определяется коэффициентом температуропроводности a (в $\text{м}^2/\text{с}$). Удельная теплоемкость c [Дж/(кг·К)] вещества связана со свойством тел аккумулировать тепловую энергию. Температурный коэффициент линейного расширения α характеризует непосредственное изменение длины образцов в зависимости от температуры нагрева.

Результаты определения теплофизических характеристик отечественных анаэробных продуктов приведены в таблице. Видно, что значения теплофизических величин анаэробных продуктов находятся в пределах:

$$a = (0,27 \dots 0,35) \cdot 10^{-3};$$

$$\lambda = 0,153 \dots 0,205;$$

$$c = 1,6 \dots 1,9;$$

$$\alpha = (74 \dots 133) \cdot 10^{-6} \text{ для анатерм АН1...АН8};$$

$$\alpha = (142 \dots 183) \cdot 10^{-6} \text{ для унигермов УГ-1, УГ-1К};$$

$$\alpha = (201 \dots 300) \cdot 10^{-6} \text{ для анатерма АН-102.}$$

Таким образом, теплофизические характеристики анаэробных продуктов соответствуют характеристикам полимерных kleящих материалов и существенно отличаются от характеристик металлов и сплавов.

Температурный коэффициент линейного расширения анаэробных продуктов, равный $(74 \dots 300) \cdot 10^{-6} 1/\text{K}$, в большинстве соединений обеспечивает необходимую прочность при низких и высоких температурах. Наиболее неблагоприятным будет соединение, когда наружная деталь имеет больший коэффициент расширения, чем внутренняя. Например, стальной вал в алюминиевой втулке. Период работы соединений при высоких температурах должен быть ограничен, а соединение проверено экспериментально. Исследование разрушения образцов типа "вал–втулка" с внутренним диаметром 6 мм, наружным диаметром втулки 15 мм и длиной соединения 21 мм, собранных с использованием анаэробного продукта АН-5, после их выдержки в течение одного часа при температуре



Теплофизические характеристики отечественных анаэробных продуктов

Марка продукта	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	$a \cdot 10^{-3}$, м ² /с	λ , Вт/(м·К)	c , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/К, при температуре, К			
					323	373	423	473
АН-1	1,19	0,30	0,177	1,76	—	—	—	—
АН-2	1,20	0,31	0,177	1,72	83	95	132	—
АН-4	1,07	0,34	0,166	1,64	82	84	91	—
АН-5	1,22	0,35	0,205	1,72	87	74	104	—
АН-6	1,23	0,30	0,169	1,76	—	—	—	—
АН-7	1,13	0,27	0,153	1,80	103	75	119	—
АН-8	1,14	0,29	0,169	1,76	—	—	—	—
АН-102	1,15	0,29	0,177	1,89	226	300	261	201
УГ-1	1,20	0,33	0,184	1,68	—	142	156	148
УГ-1К	1,19	—	0,180	1,64	—	166	183	164

Примечание. Температура определения теплофизических величин 323 К.

213...333 К (один цикл) и проведения тридцати циклов не показало существенного изменения предела прочности соединения в сравнении с прочностью образцов, не подвергавшихся температурному воздействию. Втулки этих образцов были изготовлены из алюминиевого сплава В95Т1 ГОСТ 21488–97, а вал – из стали 25Х13Н2 ТУ 14-1-721–73.

Анаэробные продукты, как и большинство полимерных материалов, обладают высокими демпфирующими свойствами и являются "безусталостными" материалами в сравнении с металлами. Это объясняется тем, что под действием вибраций и внешних циклических нагрузок в объеме материала возникают относительные перемещения макро- и микрочастиц, что и приводит к превращению механической энергии в тепловую. Демпфирующая способность материалов улучшается при введении в них определенных наполнителей.

Анаэробный герметик в отверженном состоянии также виброустойчив и стоек к встрихиванию. Не отмечены случаи разгерметизации или расконтри-

вания соединений при испытаниях на тряску и вибрацию как на средних режимах испытаний, так и при испытаниях с предельными вибонагрузками, в том числе на режимах: тряска при ускорении 90 м/с² и 80 уд./мин; вибрация с частотами 10...50 Гц и ускорением 3 g; 50...500 Гц и 22 g; 500...2000 Гц и 25 g; 25000 Гц и 200 g. Все виды испытаний проводили на натурных образцах и получили положительный результат.

Вывод

В результате проведения комплекса экспериментальных исследований по определению адгезионных, теплофизических и демпфирующих свойств анаэробных отечественных материалов установлены графические и эмпирические зависимости прочности и шероховатости поверхности, величины зазора, времени отверждения, активности соединяемых материалов, что расширяет возможности их применения при сборке узлов и агрегатов в различных отраслях промышленности.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ

В.Н. Костюков, д-р техн. наук, А.П. Науменко, канд. техн. наук
(Научно-производственный центр "ДИНАМИКА")

Решения проблем безопасной эксплуатации поршневых машин

Рассмотрены методические основы эксплуатации и ремонта поршневых машин, в частности компрессоров опасных непрерывных производств, по фактическому техническому состоянию с использованием систем мониторинга технического состояния в реальном времени. Приведены примеры эксплуатации и ремонта по показаниям системы мониторинга КОМПАКС®.

Methodical bases of operation and repair of piston machines, in particular, compressors of dangerous process productions, on an actual technical condition with use of systems of monitoring of a technical condition in real time are considered. Examples of maintenance and repair under indications of system of monitoring are resulted.

Ключевые слова: поршневые машины, поршневые компрессоры, мониторинг, диагностика, вибрация.

Key words: piston machines, reciprocating compressors, monitoring, diagnosis, vibration.

Критерием, определяющим качество эксплуатации и обслуживания поршневых машин (ПМ) различного назначения, является использование максимального их ресурса, с одной стороны, при обеспечении безопасности в случае аварийных и не-предсказуемых остановок ПМ с заданным уровнем последствий и потерь и, с другой стороны, при заданном уровне затрат на ремонт и восстановление работоспособного состояния ПМ.

Уровни последствий, потерь и затрат определяют исходя из назначения и областей применения ПМ. Так, при использовании ПМ, например, двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в общегражданских целях (автомобильный, железнодорожный транспорт и т.п.) на первый план выходит вторая составляющая — уровень затрат на ремонт и восстановление. Для ПМ, используемых на морском и речном флоте, в зависимости от вида объектов значительную роль играет первая составляющая — обеспечение безопасности — при достаточно боль-

шом весе второй. В тех сферах применения ПМ, в которых безопасность при отказе ПМ играет определяющую роль, например, в авиации, потенциально опасных объектах, первая составляющая имеет доминирующий вес.

Основным средством поддержания в рабочем состоянии существующего парка ПМ является *планово-предупредительный ремонт*. Интервалы между обслуживаниями и ремонтами, их объем, и содержание определяют на основе статистических данных. При этом не учитывают особенности конкретной конструкции, реальные условия эксплуатации, в частности, стохастический характер нагрузок на ПМ, качество обслуживания, а рассматривают тип, модификацию ПМ, характер эксплуатации и т.п. Основанная на таком подходе *система обслуживания и ремонта ПМ и другого динамического оборудования имеет ряд недостатков*:

- ремонтно-регулировочным работам подвергают оборудование, находящееся в удовлетворительном состоянии и не нуждающееся в них;
- наступивший в период эксплуатации скрытый отказ устраниют только во время регламентных работ;
- внезапные отказы полностью устранить не удается, а на их количество и тяжесть существенное влияние оказывают не только условия эксплуатации, но и качество ремонтных работ, и качество замененных деталей и узлов;
- отсутствие на объектах и производствах качественных средств диагностики текущего технического состояния и качества ремонтных и регулировочных работ динамического оборудования, к которому относят и ПМ, приводит к снижению эффективности его функционирования, так как оборудование после ремонтно-регулировочных работ часто имеет характеристики, которые не соответствуют паспортным данным, например, повышенный расход, пониженную мощность, а автомобили, например, худшую динамику;
- отсутствие наблюдаемости текущего технического состояния (ТС) ПМ приводит к непредска-



зуемым, часто аварийным остановкам машин, следствием которых являются не только экономические, но и существенные технические и экологические потери.

Существует достаточно большая сфера применения ПМ, где безопасность их эксплуатации является первостепенным и определяющим фактором. Это ПМ потенциально опасных производств предприятий нефтегазохимического комплекса (НХК).

Внезапная и аварийная остановка оборудования производств НХК создает угрозу не только появления значительных экономических потерь от простоев и восстановления их работоспособности, но и угрозу экологических и техногенных аварий и катастроф. В связи с этим весьма важным является получение не только достоверного, но и своевременного диагноза, который мог бы обеспечить безаварийную эксплуатацию с максимальным использованием ресурса заменяемых узлов и деталей.

Достичь этого можно только путем обеспечения постановки диагноза с интервалом времени меньшим, чем интервал развития неисправности. Для оборудования НХК этот интервал может лежать в пределах от нескольких минут до часов, дней, недель, месяцев.

Таким образом, безопасная ресурсосберегающая эксплуатация оборудования опасных производств неразрывно связана с мониторингом ТС этого оборудования. Термин "техническое состояние" предполагает пять видов состояний:

- исправное;
- неисправное;
- работоспособное;
- неработоспособное;
- предельное.

Однако сегодня условия эксплуатации требуют другой оценки возможностей эксплуатации, использования по назначению машинного оборудования и степени опасности дальнейшей эксплуатации.

В понимании специалистов служб эксплуатации и ремонта **техническое состояние** – это состояние объекта, при котором он способен выполнять свои функции в допустимых пределах отклонений функциональных количественных и качественных показателей, при заданном риске возникновения отказа, приводящего к прекращению выполнения своих функций. Как правило, используют **четыре категории таких состояний** [12]:

◆ **ХОРОШО (Х)** – допустимо при приемочных испытаниях после монтажа или капитального (среднего) ремонта. Соответствует исправному состоянию объекта и характеризует высокое качество ремонтных, монтажных работ и обкатки под нагрузкой.

◆ **ДОПУСТИМО (Д)** – допустимо при длительной эксплуатации. Характеризует полностью работоспособное состояние объекта при малой вероятности отказа. При достижении уровня Д контролируют скорость изменения измеряемых параметров.

◆ **ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР (ТПМ)** – допустимо при непродолжительной эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует ТПМ, если величина измеряемого параметра превышает уровень ТПМ или скорость роста параметра превышает уровень ТПМ при абсолютном значении параметра, превышающем уровень Д. Предупреждает о приближении ТС к предельному, наличии развивающихся дефектов, устойчивой постепенной утрате работоспособности и росте вероятности отказа. Служит основанием для проведения более частого текущего обслуживания и/или планомерного вывода агрегата в ремонт.

◆ **НЕДОПУСТИМО (НДП)** – недопустимо при эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует НДП, если величина измеряемого параметра превышает уровень НДП или скорость роста параметра превышает уровень НДП при абсолютном значении параметра, превышающем уровень Д. Характеризует наличие развитых дефектов либо высокую скорость их развития и достижение объектом предельного либо опасного состояния с высокой вероятностью отказа. Служит для немедленного останова агрегата и вывода его в ремонт. Продолжительность работы агрегата в состоянии НДП должна быть минимальна и определяется регламентом по выводу его из этого состояния.

Сегодня в задачу систем мониторинга входит определение не только вида ТС, но и неисправного механизма, узла, детали, т.е. элемента технического объекта, а также **прогнозирование ТС, что является общей задачей диагностики**. Для мониторинга состояния ПМ, к которым, прежде всего, относятся поршневые компрессоры (ПК), компримирующие взрывоопасные, вредные газы, а также ДВС, используемые в авиации, морском и речном флоте, кинематика, динамика и структурные параметры которых имеют много общего, необходимо обобщить опыт разработки методов и средств диагно-



стики, систем мониторинга и их применения на реальных производствах.

Решение столь сложной задачи, как мониторинг ТС, возможно на основе адекватного выбора методологии диагностирования и параметров, не только определяющих ТС, но позволяющих осуществлять диагностику. Системы мониторинга на основе вибродиагностики наряду с другими параметрами, характеризующими и определяющими ТС объекта, требуют обоснованного выбора совокупности параметров вибраакустических (ВА) колебаний, позволяющих с минимальным риском пропуска отказа определять ТС объекта и осуществлять его диагностику.

Вибраакустические колебания, источниками которых являются соударения в кинематических парах механизмов (поршень–цилиндр, клапан–седло и т.д.), обладают значительной информативностью [4, 11] с точки зрения величин структурных параметров, а также других процессов, генерирующих акустический сигнал. Косвенно ВА-колебания характеризуют величину зазора между сопряженными элементами ПМ, увеличивающуюся по мере износа трущихся поверхностей.

Однако ВА-диагностика ПМ требует использования иной по сравнению с центробежными машинами методологии формирования и выделения диагностических признаков. Определение необходимого и достаточного количества диагностических признаков, которые позволяли бы достоверно оценивать техническое состояние ПМ в целом, ее систем, механизмов и отдельных деталей, основывается на анализе физических процессов, протекающих в ПМ, и закономерностях их развития.

Поршневая машина, будь то ПК или ДВС, представляет собой сложную газомеханическую систему и является мощным и многофакторным источником ВА-сигналов, которая имеет **три основных источника**:

- неуравновешенность движущихся и вращающихся масс – силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, центробежные силы инерции и моменты этих сил;

- газогидродинамические процессы – силы давления газов, протекание газа при впуске и выпуске, впрыск топлива, течение жидкости в насосе;

- соударения и трение между элементами и деталями узлов и механизмов.

Неуравновешенность движущихся и вращающихся масс вынуждает механизм колебаться как единое

целое относительно положения равновесия. Эти колебания характеризуются низкими частотами (десятки, сотни герц), сравнительно большими амплитудами перемещения и малыми ускорениями. Основная частота колебаний объекта равна и/или кратна частоте вращения неуравновешенных масс ротора, что является характерной чертой этого вида колебаний. Амплитуда колебаний пропорциональна квадрату угловой скорости вращения вала и зависит также от массы объекта и жесткости его крепления. Этот вид колебаний принято называть вибрацией.

Газогидродинамические процессы, соударения и трение между элементами и деталями узлов и механизмов отличаются высокими частотами (тысячи герц), малыми амплитудами смещения (доли мкм) и значительными ускорениями (десятки метров в секунду за секунду). Частоты этого вида колебаний определяются размерами, формой и упругими константами материала деталей, а также динамикой газовых и гидравлических процессов. Их амплитуда пропорциональна скорости столкновения деталей и течения газогидравлических носителей.

Такие колебания принято называть **акустическими колебаниями** или **структурным шумом**. В первом названии подчеркивается их физическая природа, в частности, тот факт, что эти колебания аналогичны акустическим явлениям, связанным с распространением упругих волн в газах, жидкостях и твердых телах. Колебания называют шумом независимо от их физической природы, если они имеют широкий спектр с непрерывным распределением составляющих по оси частот.

Обобщенно вибраакустическим (ВА) сигналом принято называть физические величины, характеризующие механические колебания (вибрационные, акустические, гидроакустические), сопровождающие функционирование объекта, а диагностику – вибраакустической.

Практический анализ ВА-сигнала предполагает анализ разнообразных его параметров. Учитывая, что в настоящее время основным способом получения ВА-информации является измерение ускорения с помощью пьезоэлектрического акселерометра, целесообразно рассмотреть взаимосвязь виброускорения с остальными параметрами ВА-колебаний.

Процесс преобразования перемещения в скорость или скорости в ускорение эквивалентен математической операции дифференцирования. Об-

ратное преобразование эквивалентно интегрированию. На практике дифференцирование приводит к росту шумовой составляющей сигнала, и поэтому его редко применяют. Интегрирование, напротив, может быть осуществлено с высокой точностью с помощью простых средств. Это является одной из причин, почему акселерометры сегодня стали основными датчиками ВА-сигнала: их выходной сигнал можно легко подвергнуть однократному или двукратному интегрированию.

Представляет интерес вопрос о влиянии операций дифференцирования и интегрирования на свойства получаемых случайных процессов с точки зрения суждения об их стационарности и эргодичности.

Если случайная функция стационарна, то ее производная тоже стационарна, по крайней мере, в широком смысле [1, 5]. Более строго – мгновенные значения случайного процесса и его производной, взятые в один и тот же момент времени, являются некоррелированными величинами. Более того, если случайный процесс является гауссовым, а при суммировании хотя бы пяти-шести гармонических колебаний со случайными и взаимно независимыми фазами получается случайный процесс, близкий к гауссовому [3], то процесс и его производная статистически независимы.

Таким образом, если измеряемый параметр (виброперемещение Se) является стационарным, то его производные (виброскорость Ve или виброускорение Ae) могут приниматься также стационарными и некоррелированными без дополнительных проверок.

Точное математическое интегрирование стационарного процесса приводит к нестационарному процессу $\xi(t)$ с неограниченно возрастающей дисперсией $\mu_2\{\xi(t)\}$, который является Винеровским случайнм процессом [1], т.е. нормальным процессом с независимыми приращениями, для которого математическое ожидание $m_1\{\xi(t)\}$ и дисперсия $\mu_2\{\xi(t)\}$ определяются следующим образом:

$$m_1\{\xi(t)\} = 0, \quad \mu_2\{\xi(t)\} = \sigma^2 t,$$

где σ – среднеквадратичное отклонение исходного процесса.

Интегрирование сигнала приводит к перераспределению энергии сигнала в область низких частот и к появлению низкочастотного тренда, что и обуславливает нестационарность реализации по-

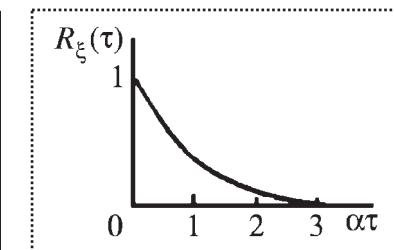


Рис. 1. Нормированная корреляционная функция

сле интегрирования. Следует иметь в виду, что идеальное интегрирующее устройство можно рассматривать как фильтр с бесконечно малой полосой пропускания. Процесс установления в таком фильтре длится бесконечно долго. Поэтому статистические характеристики интеграла случайного процесса существенно зависят от пределов, т.е. от длительности интегрирования τ .

Корреляционная функция на выходе реальной интегрирующей цепи имеет вид

$$B\xi(\tau) = \frac{N_0 \alpha}{2} \exp(-\alpha|\tau|),$$

где $\alpha = 1/RC$;

N_0 – спектральная плотность сигнала (в общем случае – стационарного случайного) на входе интегратора;

R и C – параметры цепи интегрирования.

А нормированная корреляционная функция (рис. 1) имеет вид:

$$R\xi(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|).$$

При этом спектральную плотность (функция частоты ω) на выходе интегрирующей цепи определяют выражением:

$$S\xi(\omega) = \frac{2N_0}{1 + (\omega/\alpha)^2}.$$

Следовательно, на выходе физической интегрирующей цепи в установленном режиме процесс является стационарным, как и на входе [5].

Исследования взаимной корреляции вибруускорения, виброскорости, виброперемещения, которые получены путем интегрирования (дифференцирования) ВА-сигнала, показывают, что при случайной компоненте с шириной спектра 3 кГц даже при отношении "сигнал/шум" 40 дБ значение меры Линдера не превышает 0,01, т.е. эти сигналы являются практически независимыми [2, 6].

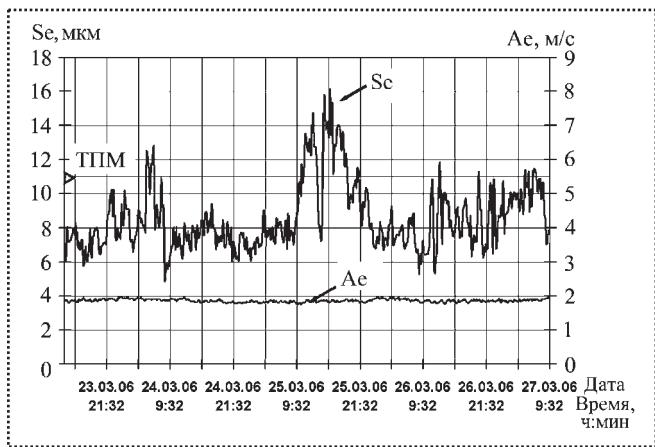


Рис. 3. Тренды вибропараметров с датчика над крейцкопфом

Таким образом, величина скорости не зависит от величины перемещения, так же как величина (значение) ускорения не зависит от величины скорости.

Практика ВА-диагностики подтверждает адекватность (достоверность) указанных выше выводов как для центробежных [6], так и для поршневых машин (рис. 2, см. 2-ю стр. обложки, рис. 3).

Тренды вибропараметров (см. рис. 2) получены с датчика, установленного на крышке цилиндра ПК, и отражают различный характер их реакции на заброс конденсата и возникновение гидроудара.

Тренды вибропараметров (см. рис. 3) получены с датчика, установленного над ползуном крейцкопфа. Из трендов видно, что на изменение зазора между ползуном и зеркалом направляющей адекватно реагирует виброперемещение.

Фундаментальным подходом к анализу и диагностике, связанным со сложностью ВА-процессов, генерируемых источниками ВА-колебаний, различием физических моделей и методов их математического описания на различных участках частотного диапазона, является *разбиение его на четыре поддиапазона* [4]:

- диапазон низких частот – от 0 до 200...300 Гц;
- диапазон средних частот – от 200...300 Гц до 1...2 кГц;
- диапазон высоких частот – от 1...2 кГц до 10...20 кГц;
- диапазон сверхвысоких частот – от 10...20 кГц до 100...500 кГц.

Полезность такого деления объясняется тем, что каждому диапазону свойственны свои возмущающие силы, своя физическая модель объекта как колебательной упругой системы, своя диагно-

стическая модель и свои методы анализа ВА-сигналов.

Многолетний опыт исследований ВА-сигналов ПК, диагностики и мониторинга состояния ПК [7–10] подтверждает, что ВА-сигналы с достаточной степенью достоверности и адекватности не только характеризуют структурные параметры узлов и деталей ПК, но и адекватно отражают повышенные динамические нагрузки на узлы детали вследствие отклонений физико-химических свойств газа от необходимых для нормальной безаварийной работы ПК.

Методология диагностирования ПК основывается, в том числе, и на анализе ВА-сигнала по углу поворота вала. Анализ уровня ВА-сигнала согласно циклограмме работы клапанов [8] позволяет фиксировать ухудшение работы клапанов, например, вследствие загрязнения и уменьшения проходного сечения, а также возникновение различных неисправностей.

Рассмотрим соответствие изменения давления в полостях нагнетания ПК двухстороннего действия возникновению ВА-сигнала, регистрируемого датчиками, установленными в зоне клапанов.

На рис. 4 (см. 2-ю стр. обложки) представлены сигналы изменения давления в двух полостях нагнетания за один оборот вала и соответствующее возникновение ВА-сигнала. Видно, что за один оборот вала формируется два мощных ВА-импульса. При этом более низкоуровневые импульсы соответствуют открытию всасывающих клапанов. При отказе одного из клапанов, прежде всего нагнетательных, один из ВА-импульсов исчезает (рис. 5, см. 3-ю стр. обложки).

Таким образом, анализ амплитуды ВА-сигнала по углу поворота вала позволяет достоверно определять работоспособность клапанов ПК. При этом изменение амплитуды сигнала, смещение ВА-импульсов по углу поворота вала будут характеризовать изменение режима компримирования в зависимости от физико-химических свойств газа, включая возникновение микрогидроударов, изменение режима работы клапанов и возникновение неисправностей их деталей, правильность подбора параметров клапанов для свойства конкретного газа.

Для диагностирования состояния различных узлов ПК можно использовать и другие методы выделения и анализа ВА-сигнала [8]. Так, анализ вибрации в различных высокочастотных зонах позволил

выявить взаимосвязь амплитуд комбинационных составляющих гармоник частоты вращения коленчатого вала и технического состояния его узлов.

Разработанная система мониторинга состояния ПМ КОМПАКС® [9] и, прежде всего, ПК (рис. 6), обеспечивает безопасную эксплуатацию ПК, опре-

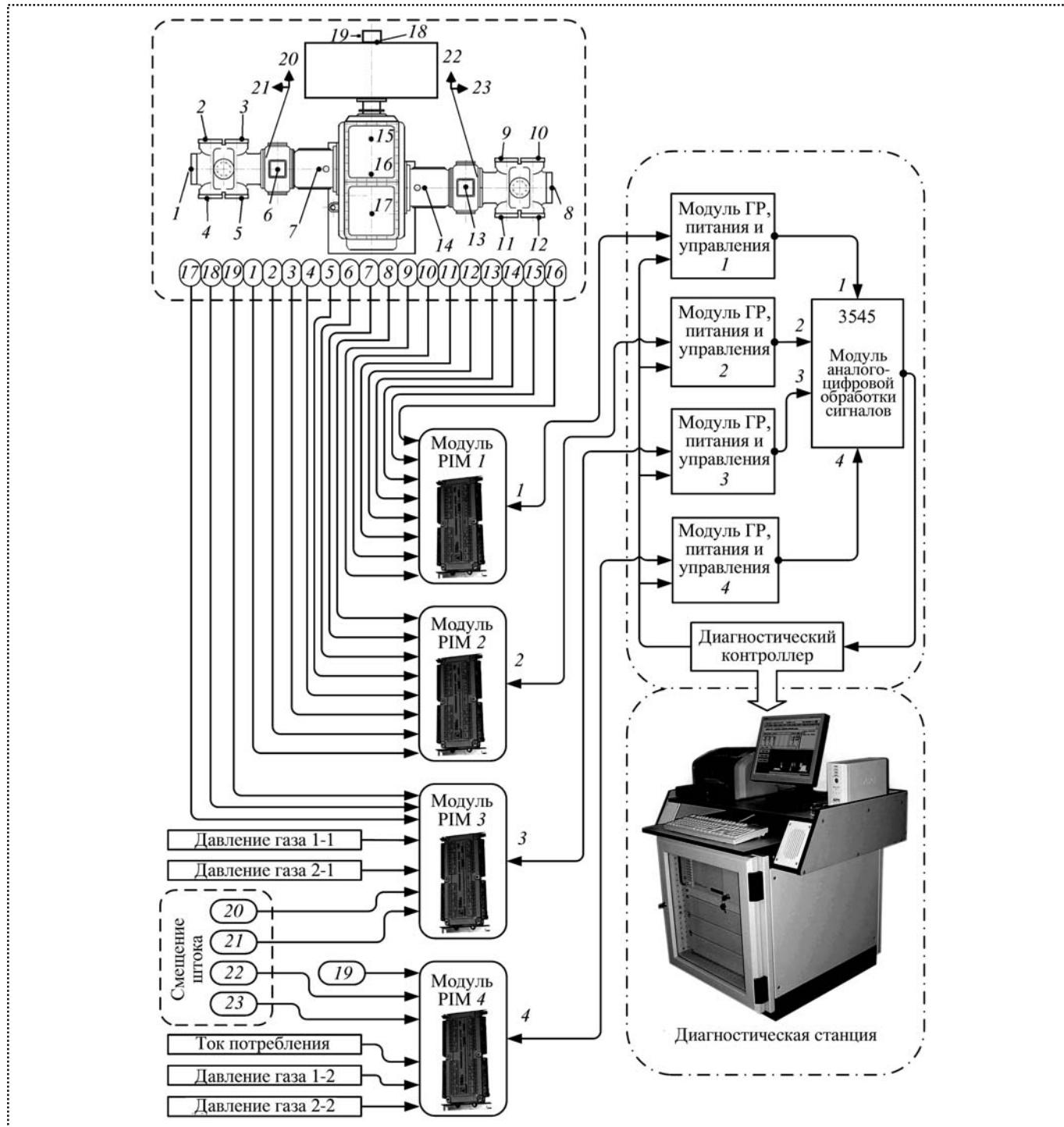


Рис. 6. Структура системы мониторинга поршневых компрессоров КОМПАКС®

1 – 18 – виброакселерометры; 19 – датчик углового положения вала; 20 – 23 – датчики относительного смещения; "Давление газа 1–1, 1–2" – давление газа в первой и второй полостях нагнетания левого цилиндра; "Давление газа 2–1, 2–2" – давление газа в первой и второй полостях нагнетания правого цилиндра



деляет техническое состояние и диагностирует более 20 узлов и неисправностей. При этом система отвечает требованиям, предъявляемым к системам мониторинга состояния оборудования опасных производственных объектов [12].

В основе системы КОМПАКС® лежит многопараметрическая обработка ВА-сигналов, полученных в различных точках ПК, которая наряду с измерением параметров ВА-сигнала для контроля состояния ПК и режимов его работы использует и параметры других физических процессов. При этом особое внимание уделено точкам получения ВА-сигналов, в которых ВА-сигнал наиболее адекватно отражает состояние тех или иных узлов ПК.

Результаты мониторинга состояния оборудования в системе КОМПАКС® выводятся на экран МОНИТОР (рис. 7), на котором отображается символическое обозначение машины (объекта) и узлов (субъектов).

По результатам работы экспертной системы соответствующий субъект окрашивается в зеленый, желтый или красный цвета, что соответствует состояниям диагностируемого узла ДОПУСТИМО для дальнейшей эксплуатации, ТПМ или НДП, при этом курсор на экране автоматически устанавливается на наихудший с точки зрения состояния субъект. При изменении состояния субъекта из

ДОПУСТИМО в ТПМ, из ТПМ в НДП или других изменениях состояния объекта мониторинга система КОМПАКС® выдает речевое сообщение, которое будет регулярно повторяться до момента его квитирования. Кроме этого, на экран выводится текстовое сообщение – результат постановки диагноза.

В начале 2008 г. системы КОМПАКС® осуществляли мониторинг технического состояния более 45 ПК на нефтегазоперерабатывающих заводах в городах Астрахань, Ачинск, Бургас, Волгоград, Омск, Сызрань и др. Под контролем системы эксплуатируются как компрессоры отечественного производства: 4М16М-45/35-55, 4М16М-45/17-37, 2ГМ16-20-42/60, 2М10-11-42/60, 5Г-600-42/60, 205ВП-16/70, 305ВП-16/70 и др., так и импортные: ВДСВ-30/30/20/20x16 (Worthington), 4HF/2 серии HF (Nuovo Pignone), 2TV2 (Neuman & Esser).

В заключение целесообразно рассмотреть несколько примеров адекватной реакции различных вибропараметров на изменение состояний различных узлов ПК.

Тренды вибропараметров системы мониторинга состояния поршневых компрессоров типа 4М16М-35/45-55 (рис. 8, участок 1, см. 3-ю стр. обложки) имеют большое количество выбросов, что свидетельствует о частом повышении уровня вибрации, являющимся следствием появления неисправностей клапанов и разрушения их деталей. Если судить по трендам, то оказывается, что механики непрерывно производили замену клапанов на данном цилиндре, при этом реально максимальное время работы конкретного клапана составляло всего лишь несколько рабочих смен.

Почти пять месяцев клапаны на одном из компрессоров эксплуатировались с заводскими регулировками (см. рис. 8, участок 2). За это время было заменено 17 клапанов. После ревизии и замены пружинок на всех клапанах, регулировки клапанов примерно за четыре месяца до окончания наблюдения уровень вибрации существенно снизился и стал ниже предупредительного.

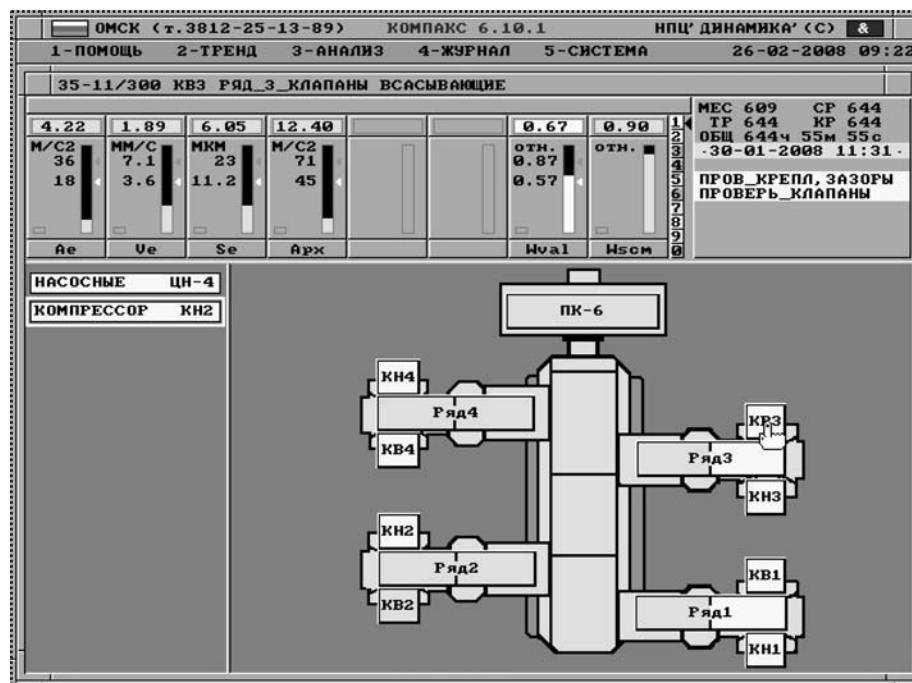


Рис. 7. Экран "МОНИТОР" системы КОМПАКС® отображает состояние ПК



Рис. 9. Тренды вибропараметров клапанов и на крышке цилиндра

Разрушения клапанов прекратились (см. рис. 8, участок 3).

При пуске компрессора (17.07.02 г.) клапаны не имели неисправностей (рис. 9). Однако буквально через пять дней (21.07.02 г.) в результате изменения технологического режима возросла нагрузка на клапан и в течение двух дней клапан разрушился. В связи с отказом клапана уровень вибрации упал и начала расти его температура. Клапан был заменен (23.07.02 г.).

Особенно эффективно отражают изменение состояния клапанов тренды вибропараметров, приведенные на рис. 10 (см. 3-ю стр. обложки) и 11, которые наглядно отображают процесс возникновения и развития неисправностей, а также последствия действий персонала.

Вибропараметры адекватно отреагировали на изменения состояния клапанов (см. рис. 10). После их замены вибросостояние пришло в норму. На рис. 11 видно, что после замены клапанов уровень вибропараметра снизился более чем в четыре раза.

Тренд параметра сигнала (рис. 12) с вибродатчика, установленного над штоком, показывает, что поршневой компрессор был остановлен в состоянии ТПМ с предписанием "Проверь крепление, проверь зазоры". После проведения ремонта — заменены сальниковых уплотнений — состояние данного узла компрессора стало ДОПУСТИМЫМ для дальнейшей эксплуа-

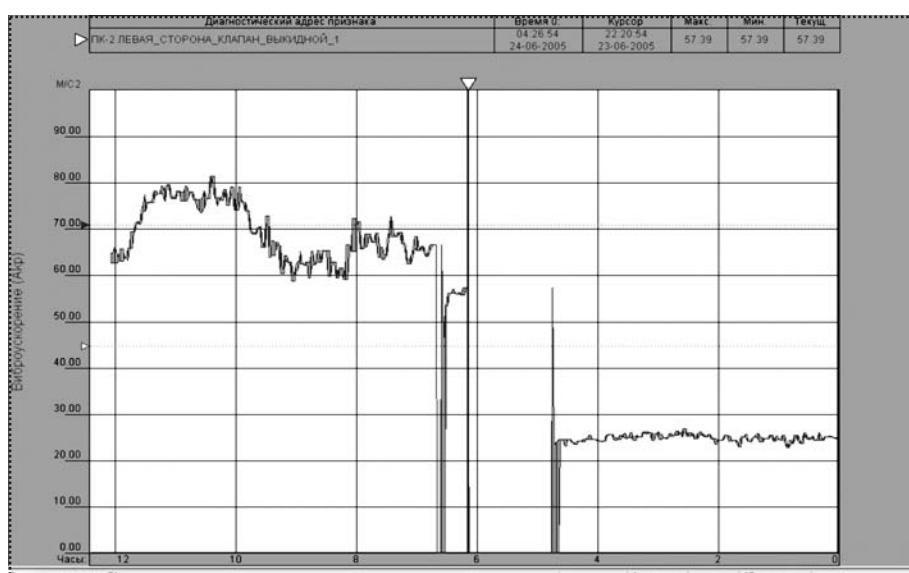
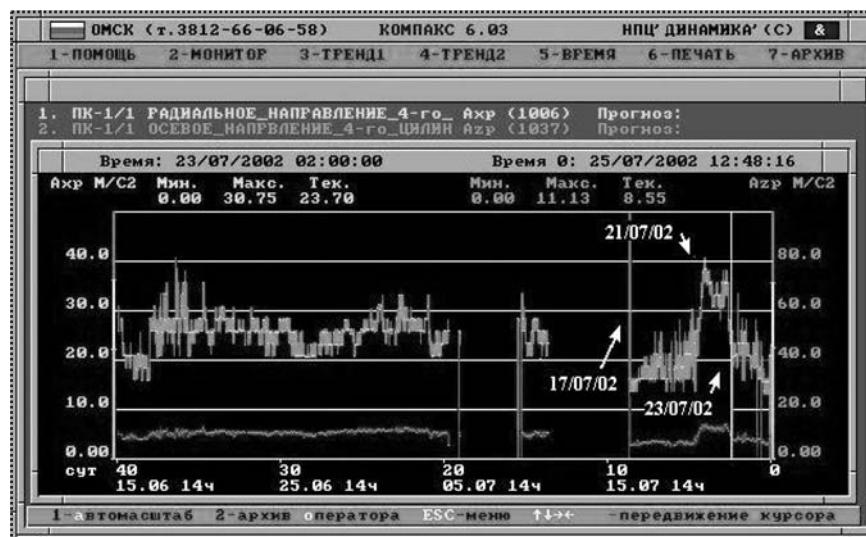


Рис. 11. Тренд вибропараметра клапанов

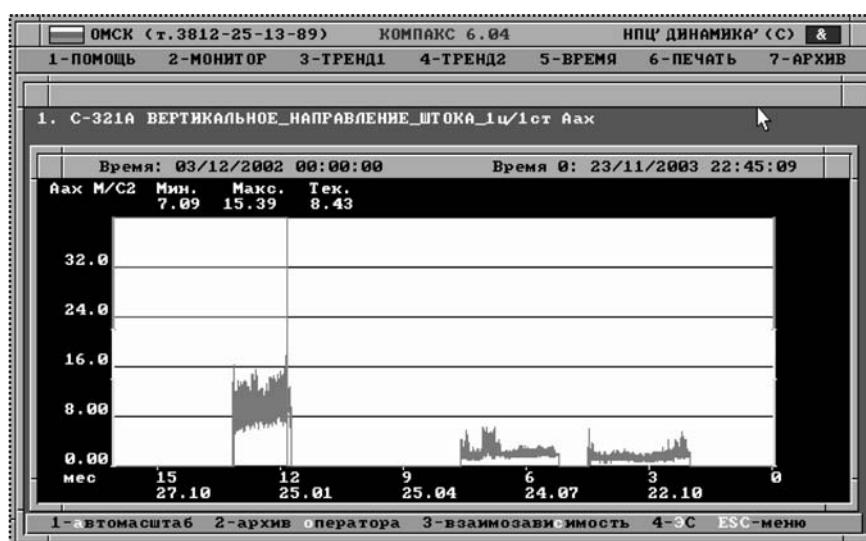


Рис. 12. Тренд вибропараметра с датчика над штоком

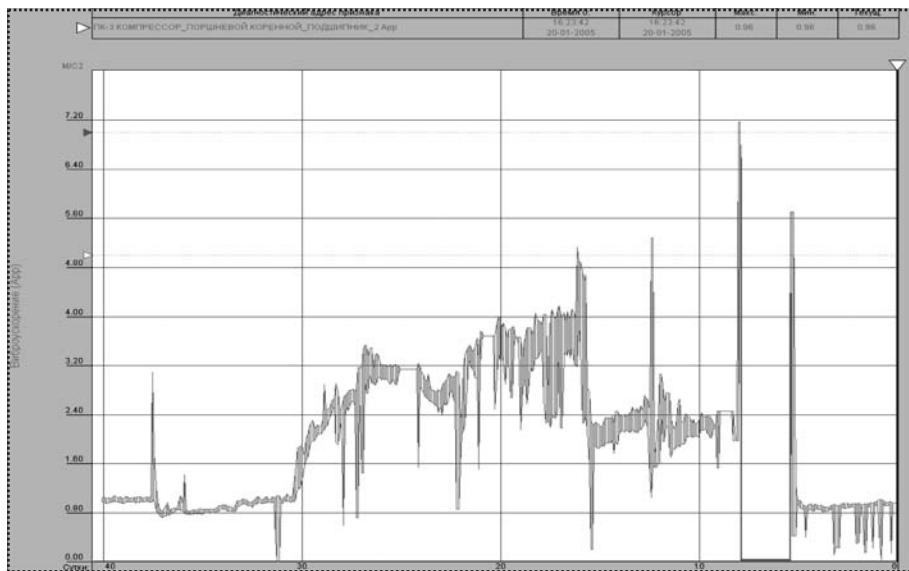


Рис. 13. Тренд вибропараметра с датчика на коренном подшипнике

тации. В данном случае видно, что ремонт прошел эффективно и достиг цели.

Мультиомодальный тренд вибропараметра, приведенный на рис. 13, свидетельствует о деградации вкладышей коренного подшипника. Персонал своевременно провел ремонт. В момент пуска после ремонта виден процесс приработки.

На одном из компрессоров типа 4М16М-35/45-55 был отмечен медленный рост уровня вибрации по виброскорости и виброперемещению на втором и четвертом цилиндрах по всем субъектам. Система

выдавала сообщение "Проверь крепление". Механик установки самостоятельно попытался произвести регулировку крепления буферных емкостей. В результате уровень виброперемещения снизился (рис. 14, участок 1), а затем повысился до уровня НДП (см. рис. 14, участок 2). При этом особенно чувствительным к жесткости крепления буферных емкостей оказался датчик, установленный на нагнетательных клапанах второго цилиндра. Затем произведена регулировка натяжений растяжек буферных емкостей (см. рис. 14, участок 3). В результате в какой-то момент времени уровень виброперемещения на нагнетательных клапанах второго цилиндра снизился ниже уровня ТПМ (см. рис. 14, участок 4). Однако дальнейшие регулировки привели к повышению уровня до значения ТПМ. В результате этих мероприятий уровни виброперемещения и виброскорости на субъектах "цилиндропоршневая группа" и "всасывающие клапаны" второго и четвертого цилиндров стали меньше значения ТПМ.

Экспертная система поддержки принятия решений системы КОМПАКС® фиксировала изменение состояния субъектов ПК и информировала персонал речевыми и текстовыми сообщениями о необходимости дальнейших действий, что отражено на трендах вибропараметров, приведенных на рис. 15 (см. 3-ю стр. обложки).

Важнейшим источником сокращения издержек производства является ресурсосберегающая эксплуатация оборудования на основе непрерывного мониторинга его технического состояния в реальном времени, что позволяет:

- предотвращать неожиданные неисправности оборудования и остановки производства;
- непрерывно, в автоматическом режиме получать и использовать объективную информацию о техническом состоянии оборудования;

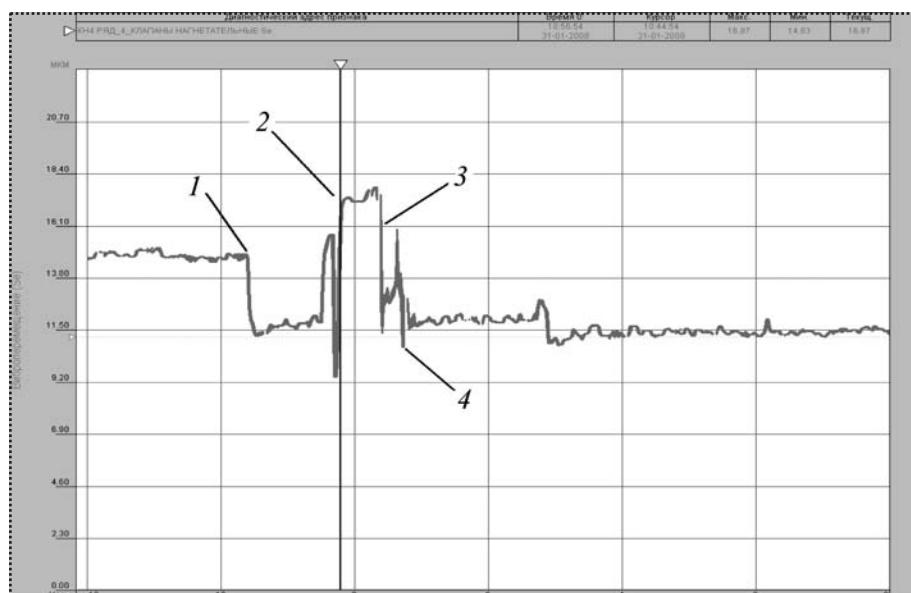


Рис. 14. Тренд вибропараметра клапана



■ контролировать и корректировать действия персонала в реальном времени путем интегрирования информации систем КОМПАКС® в единой диагностической сети Compacs-Net® с единой базой данных параметров мониторинга на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние оборудования существенно не изменяется.

Вывод

Система мониторинга технического оборудования КОМПАКС® позволяет целенаправленно и надежно контролировать состояние поршневых компрессоров. Дальнейшим направлением работ можно считать расширение класса диагностических признаков и диагностируемых состояний компрессоров с учетом их массогабаритных и других показателей или инвариантных им.

Библиографический список

1. Басаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. "Радиотехника". 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 448 с.
2. Бойченко С.Н. Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по спектральным параметрам вибрации: Автoref. ... канд. техн. наук / ОмГТУ, Омск, 2006. 20 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Физматгиз, 1962. 564 с.

4. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

5. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.

6. Костюков В.Н. Разработка элементов теории, технологии и оборудования систем мониторинга агрегатов нефтехимических комплексов: Автoref. д-ра техн. наук / МГТУ им. Н.Э. Баумана, М., 2001. 32 с.

7. Костюков В.Н., Науменко А.П. Мониторинг состояния поршневых компрессоров / Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования: Тр. III Междунар. симпозиума. СПб: Изд-во СПбГТГУ, 1997. С. 254–256.

8. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учеб. пособие / под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.

9. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. №10. С. 38–48.

10. Науменко А.П. Методология виброакустической диагностики поршневых машин / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск. Серия Машиностроение. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 85–95.

11. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. М.: Машиностроение, 1971. 224 с.

12. Стандарт ассоциации "Ростехэкспертиза", ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ "Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов" общие технические требования (СА 03-002-04). Серия 03/ Колл. авт. М.: Химическая техника, 2005. 42 с., согласованный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 1 февраля 2005 года.

Журнал "Сборка в машиностроении, приборостроении" распространяется только по подписке

Подписные индексы:

79748 – по каталогу "Роспечать"

84967 – по Объединенному каталогу "Пресса России"

60257 – по каталогу "Почта России"

или непосредственно в издательстве.

Телефоны: (499) 269-66-00, 269-52-98.

Факс (499) 269-48-97.

E-mail: sborka@mashin.ru



**В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, М.Е. Кипнис, Л.Г. Красневский,
В.И. Адашкевич (ОАО "Белкард", г. Гродно)**

Модернизация стенда для испытаний шлицевых соединений карданных валов

Рассмотрен метод модернизации оборудования на примере стенда для испытания шлицевых соединений карданных валов. Рассмотрены вопросы оснащения стенда для испытания современной информационно-управляющей системой.

The approach to modernization of equipment on an example of a bench for trial of splines of cardan shafts is offered. The questions of equipment of test equipment by a modern information and control system are considered.

Ключевые слова: оборудование, стенд для испытаний, карданный вал, шлицевое соединение, информационно-управляющая система.

Key words: equipment, stand for test, drive shaft, spline joints, modern information and control system.

В настоящее время динамично развиваются методы компьютерного моделирования при разработке конструкций и новых компонентов машин. Однако эмпирические методы проверки конструктивных и технологических решений, а также контроля технического состояния узлов и агрегатов машин на разных стадиях их создания и эксплуатации остаются актуальными и получают все большее развитие.

Испытательное оборудование является мощным оценочным инструментом при создании новых и совершенствовании существующих образцов изделий и материалов. Поэтому испытательная база предприятия, ее техническое оснащение в значительной степени определяют качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Одной из основных характеристик испытательного оборудования является возможность получения достоверной информации о процессе испытаний в любом выбранном интервале времени для выбранного параметра. Эта характеристика, а также требования автоматизации процесса и обработки результатов испытаний, расширение функциональных возможностей могут быть реализованы в испытательном стенде, представляющем собой органично сформированную мехатронную систему с

использованием современных интеллектуальных микроэлектронных компонентов и программных средств.

На ОАО "Белкард" были разработаны новые антифрикционные материалы для шлицевых соединений карданных валов. Сравнительная оценка триботехнических свойств новых и применяемых в настоящее время материалов могла быть осуществлена посредством натурных ресурсных испытаний шлицевых соединений с покрытиями из этих материалов.

Существующий на ОАО "Белкард" стенд для испытания карданных валов не соответствовал требованиям методики испытаний, а его контрольно-измерительная часть, выполненная на элементной базе 80-х годов прошлого века, не обладала функциональностью и достоверностью получения данных в процессе испытаний. Схема стенда приведена на рис. 1.

Модернизация существующего стендла под поставленные задачи включала в себя следующие этапы:

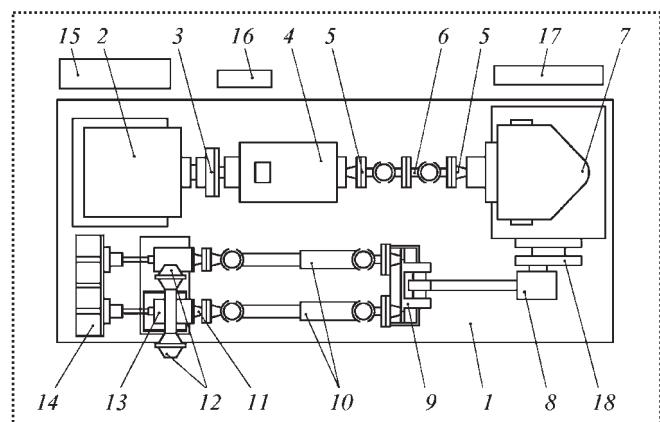


Рис. 1. Схема стенда 215.0000:
1 – фундаментная плита; 2 – электродвигатель; 3 – пальчиковая муфта; 4 – КПП; 5 – переходной фланец; 6 – технологический вал; 7 – редуктор; 8 – рычаг; 9 – качающаяся стойка; 10 – испытуемые валы; 11 – переходные фланцы; 12 – пневмокамеры; 13 – цилиндр; 14 – стойка; 15 – пневмошкаф; 16 – командаоппарат; 17 – электрошок; 18 – планшайба

- ◆ анализ технического состояния стенда;
- ◆ разработка структуры и алгоритма функционирования модернизированного стенда;
- ◆ выбор необходимых компонентов и разработка рабочей документации;
- ◆ монтажно-наладочные работы;
- ◆ метрологическое обеспечение испытаний.

При проведении анализа состояния стенда в целом и его компонентов прежде всего необходимо исходить из определения состояния по физическому износу, функциональности и возможности адаптации данного устройства для его работы в составе мехатронной системы. Например, узлы механической части стенда (электропривод переменного тока, редуктор, узел качания, узел закрепления испытываемого карданного вала) соответствовали требованиям их применения в модернизированном стенде. А узел нагрузки шлицевого соединения карданного вала с пневмоприводом и электромеханическим командоаппаратом и узел измерения сил в шлицевом соединении карданного вала требовали замены.

При этом разработанная система должна в соответствии с методикой параметрических и ресурсных испытаний обеспечивать формирование движений с заданными силами в испытываемом узле (шлицевом соединении), а также съем и обработку данных о процессе испытаний.

Выбор архитектуры информационно-управляющей системы (ИУС) на основе современных электронных компонентов является определяющим фактором для технико-экономических показателей модернизированного стендового оборудования.

При определении архитектуры ИУС можно выделить два основных подхода:

- 1) централизованный;
- 2) распределенный.

Пример построения стендса с *централизованной* архитектурой ИУС и радиальным подключением периферии показан на рис. 2.

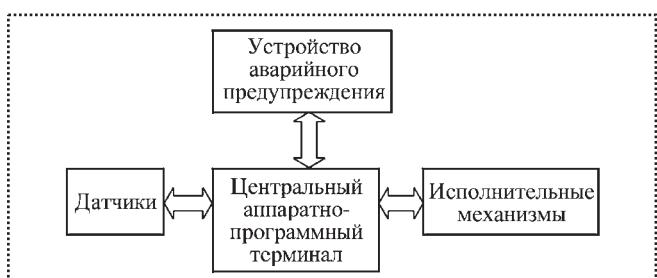


Рис. 2. ИУС с центральной архитектурой

Достоинством ИУС с центральной архитектурой является прямая связь центрального терминала с периферийными устройствами.

Недостатки ИУС с центральной архитектурой следующие:

- потребность в длинных линиях связи и большой объем проводных соединений процессора с радиально подключаемой периферией;

- сложность разработки и корректировки программного обеспечения для систем с одновременным обслуживанием параллельных разнокоростных процессов.

Для данного стенда применение ИУС с центральной архитектурой имеет также минусы, связанные с тем, что обеспечить требования по ресурсным испытаниям возможно, только если использовать в качестве центрального терминала комплект специализированного контроллера (например, типа FX2N производства "Мицубиси-электрик"), промышленный компьютер (например, типа "Октагон") или аналогичные по техническим характеристикам аппаратные средства других производителей. При этом необходимо учитывать, что программное обеспечение для этих технических средств является также специализированным, и если потребитель не применяет аналогичные системы, то это приводит к дополнительным сложностям при эксплуатации. Стоимость же этих аппаратных средств значительно превосходит стоимость унифицированных технических средств со стандартными каналами связи, протоколами обмена на базе микропроцессоров, например 51-й серии.

Информационно-управляющая система модернизированного стенда ОАО "Белкард", выполненная по принципу *распределенной* разноуровневой структуры, приведена на рис. 3.

Особенностью данной схемы является то, что она имеет три уровня в структуре:

■ уровень приема и контроля сигналов от датчиков посредством вторичных показывающих приборов;

■ уровень сбора, обработки сигналов, хранения информации и управления режимами нагружения (устройства выполнены на базе микропроцессорных контроллеров);

■ уровень задания режимов работы ИУС, вторичной обработки полученных данных, их хранения и визуализации процесса испытаний на любом выбранном отрезке времени за период испытаний

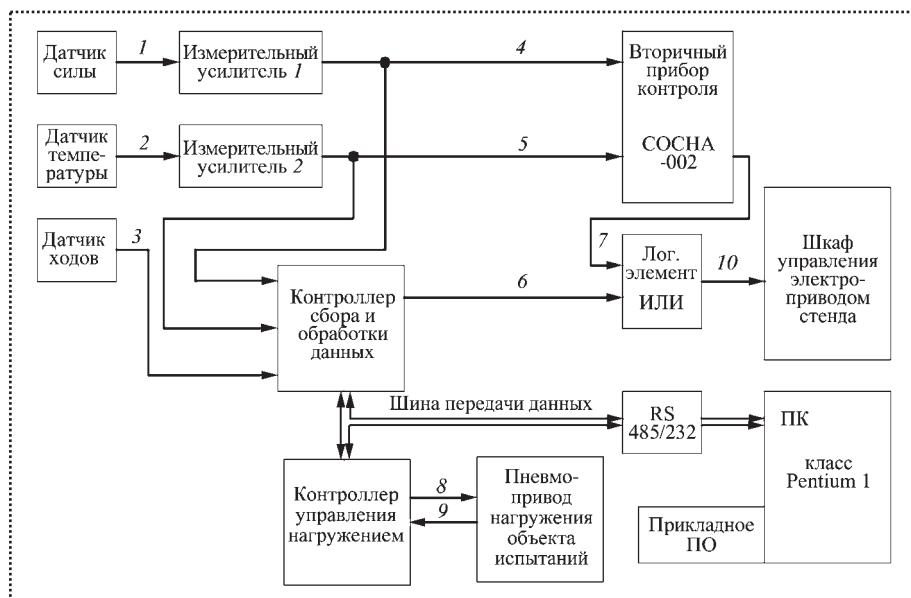


Рис. 3. Информационно-управляющая система стендa:

1, 2, 3 – сигналы датчика; 4, 5 – нормированные измерительные сигналы; 6...10 – сигналы контроля и управления

(использован персональный IBM-компьютер класса AT 486).

Каждый уровень в структуре оптимизирован под автономную работу по функциональным возможностям и по стоимости. Это обеспечивает надежную работу оборудования при проведении длительных испытаний и при трехсменной загрузке в автоматическом режиме. Так как от третьего уровня в этой системе не требуется постоянной работы во время испытаний и он не осуществляет оперативное (on-line) управление и сбор информации, то это дает возможность применить для этих задач офисный компьютер и получить экономию средств по сравнению с вариантом центральной архитектуры.

В качестве базового компонента для контроллеров управления и сбора данных применен микроконтроллер "Cygnal" производства США, выполненный на базе семейства x51-совместимых микроконтроллеров, сочетающий в себе достоинства микроконтроллеров фирм Atmel и Microchip и превосходящий их по ряду параметров. В частности, микроконтроллер "Cygnal" содержит на кристалле много подсистем, превращающих его в мощную, быстродействующую, высокointегрированную систему обработки данных.

Микроконтроллер "Cygnal" имеет гибкую архитектуру для наращивания его внешними компонентами, что позволяет без избыточности строить

на его базе как простые, так и сложные электронные системы управления и сбора данных. Микроконтроллер "Cygnal" имеет оптимальное соотношение цены и функциональных возможностей по сравнению с универсальными контроллерами других западных производителей. Важным преимуществом является развитая встроенная система отладки программного обеспечения.

Стоимость фирменного аппаратно-программного комплекса для отладки значительно меньше, чем у других фирм. Для семейства x51-совместимых микроконтроллеров разработано очень большое количество качественного и доступного программного обеспечения: компиляторов различных языков ASM51, C++ и т.п.

Модернизированный стенд при проведении ресурсных и сравнительных испытаний шлицевых соединений карданных валов с различными фрикционными материалами обеспечивает контроль таких параметров, как сила, температура и крутильная нагрузка, а также общее число циклов качания (ходов в шлицевом соединении) и время испытаний. При этом система управления и регистрации реализует два режима работы:

- автономный;
- сбор данных.

В *автономном* режиме задействован лишь первый уровень информационно-управляющей системы с возможностью задания цикла нагружения и вывода параметров силы F и температуры T на вторичные приборы типа "Сосна".

Микропроцессорный контроллер сбора и обработки данных и персональный компьютер не используются. Режим контроля за предельными значениями параметров F и T сохраняется посредством измерителя-регулятора "Сосна" и в случае их превышения главный электропривод стендa останавливается.

В режиме *сбора данных* система работает в полном комплекте и обеспечивает измерение, контроль и регистрацию (запоминание и хранение) параметров за весь период испытаний. При необходимости в этом режиме оператор, используя персо-



нальный компьютер, может визуализировать график изменения основного параметра испытаний – силы за время одного цикла, а также просмотреть из архива диаграммы изменения параметров (силы, температуры) за любой временной интервал.

Текущий контроль состояния фрикционного покрытия в шлицевом соединении осуществляют по величине силы трения (используются данные о размахе силы трения при положительном и отрицательном ее значении), а также температуре в узле трения. Эти параметры постоянно записывают в память контроллера сбора и обработки данных с последующим их сравнением с установками пре-

дельных значений. Для более детального анализа состояния узла трения (шлифового соединения) через заданное время осуществляется запись графика силы за время одного цикла (полного хода в прямом и обратном направлениях). Для определения параметров на графике силы используют стандартный пакет "Excel".

Вывод

Модернизация стенда на ОАО "Белкард" (Гродненский завод карданных валов) позволила проводить сравнительные, ресурсные и параметрические испытания узлов трения в карданных передачах с высокой степенью достоверности и надежности.

УДК 621.9.02

**А.П. Плотников, д-р техн. наук, Г.В. Ханов, д-р техн. наук,
Е.Г. Крылов (Волгоградский государственный технический университет)**

Обеспечение надежности работы сборного многолезвийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании

Рассмотрено обеспечение надежности работы сборного многолезвийного инструмента типа торцевых фрез, сверлильных и расточных головок путем предварительной сортировки твердосплавных пластин на группы качества в условиях организованного набора режущих элементов.

The research is devoted to creation reliable work of assembled multipleblade tool from a firm alloy like end mills, boring heads on the base of preliminary sorting firm alloy plates on quality groups in conditions of organizing set cutting elements.

Ключевые слова: многолезвийный твердосплавный инструмент, автоматизированное станочное оборудование, торцовальная фреза, сортировка, группа качества.

Key words: multiedge tool from a firm alloy, automatic metal-cutting equipment, face-milling cutter, classification, quality group.

Среди задач, решаемых при внедрении многостаночного обслуживания станков с ЧПУ, существует задача обеспечения надежности процесса резания как основного фактора эффективной эксплуа-

тации металлорежущего оборудования. Надежность процесса обработки на фрезерных станках с ЧПУ во многом определяется стабильной работой сборного многолезвийного твердосплавного инструмента (типа торцевых фрез) в течение заданного периода времени. Это, в свою очередь, определяется выбором допустимой скорости резания. Существующие методики определения допустимой скорости при торцовом фрезеровании ориентированы на то, что весь комплект (набор) режущих пластин обладает одинаковыми режущими способностями и рассчитанная скорость резания является рациональной для всего набора, обеспечивая, тем самым, расчетное время его безотказной работы.

Однако на надежность работы сборного многолезвийного инструмента большое влияние оказывает неоднородность режущих свойств твердосплавных пластин (зубьев) в наборе фрезы, зенкера, сверлильной или расточной головки. Анализ литературных источников показал, что среди причин отказов многолезвийного инструмента (бienie зубьев, сколы, выкрашивание) естественный **преждевременный износ является доминирующим** и составляет до 50 % отказов [1].



Из основных показателей, оценивающих надежность работы режущего инструмента на автоматизированном станочном оборудовании, целесообразно использовать *безотказность* как его свойство сохранять работоспособность непрерывно в течение расчетного времени. Считается, что существующие методики расчета элементов режимов резания обеспечивают его надежную работу в задаваемом периоде стойкости.

Следует заметить, что в справочной литературе по выбору режимов резания нет нормативных показателей, регламентирующих точность расчета. Такое обстоятельство может быть в двух случаях.

Первый: математические зависимости обеспечивают на высоком уровне надежности (0,9...0,95) совпадение расчетных значений с фактическими.

Второй: математические зависимости не обеспечивают приемлемого уровня надежности и их корректировка должна происходить на основе оценочных показателей.

Расчет количественных характеристик на стадии подготовки технологического процесса относится ко второму случаю. Особенностью коррекции количественных величин элементов процесса резания является то, что расчет их ведется технологом-программистом вне станка, а корректировку осуществляет оператор-станочник на основе наблюдения и контроля за ходом процесса резания непосредственно на станке.

Чаще всего коррекцию проводят на основе интуиции и опыта станочника и, как правило, в сторону снижения скорости, подачи или глубины резания до значений, обеспечивающих приемлемый уровень надежности автоматически выполняемого процесса обработки. При многостаночном обслуживании фрезерных станков с ЧПУ или при их работе в составе автоматизированных станочных комплексов у оператора-станочника нет физической возможности одновременного контроля за ходом процесса обработки на нескольких станках.

Для этого вида оборудования за отказ следует принимать случай, когда действительная величина периода стойкости отличается от расчетной на 15...20 % и более. В практике подготовки режимной части управляющих программ для станков с ЧПУ отсутствуют какие-либо официальные оценочные показатели (коэффициенты) для коррекции принятых режимов резания. Связано это с тем, что диапазон разброса свойств инструментального и обрабатываемого материалов (особенно инстру-

ментального) велик и вероятность успешного применения всевозможных "коэффициентов коррекции" мала. В.К. Старков [1] указывает, что применение "детерминированного подхода к оптимизации процесса резания с учетом математического ожидания возмущающих факторов обеспечивает уровень надежности, равный 0,6 (вероятность безусловного выполнения требований к обработке)...".

Обеспечение надежности работы сборного многолезвийного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании до сих пор остается полностью не разрешенной проблемой. В большинстве случаев для ее решения идут на значительное (до 50...70 %) снижение расчетных режимов резания относительно нормативных в предположении, что более низкие скорости и подачи обеспечат стабильную работу инструмента.

Обоснованием к указанному снижению является допускаемый техническими условиями на изготовление разброс физико-механических свойств как со стороны обрабатываемого, так и инструментального материала. На практике при пониженных режимах резания имеет место значительный статистический разброс значений стойкости инструмента, иногда достигающий 100 %.

Существующие методики расчета допустимой скорости фрезерования как основного параметра, определяющего заданное время работы режущего инструмента (период стойкости), не в полной мере учитывают разброс физико-механических свойств обрабатываемых сталей и режущих свойств твердосплавного инструмента. В настоящее время набор твердосплавных пластин в комплект сборного многолезвийного инструмента производят с заранее неопределенными режущими свойствами, т.е. в условиях так называемого *неорганизованного набора*.

При двукратном и более различии режущих свойств внутри марочного состава твердосплавных пластин, допускаемых ГОСТом, равную вероятность выхода из строя любого зуба из набора фрезы можно принять лишь условно. Собранные в случайной последовательности в одной фрезе твердосплавные пластины с различными режущими свойствами имеют при постоянных режимах резания различную интенсивность изнашивания.

Пластинки с содержанием свободного графита уже в начальный период изнашивания (приработка) имеют значительно больший размерный износ,

чем пластиинки, не имеющие фазы свободного графита. Реально снимаемый объем металла пластиинками с низкими режущими свойствами уменьшается за каждый оборот фрезы, в то время как следующие за ними зубья испытывают увеличенные силовые и температурные нагрузки, что, в конечном счете, приводит к их увеличенному, а иногда и катастрофическому износу или сколу.

Совокупную стойкость фрезы в этом случае определяет пластиинка (группа пластиин) с пониженными режущими свойствами, что и является одной из причин отказа в работе многолезвийного инструмента. Как правило, такой вид отказа ведет к появлению недопустимой **вибрации** в станочной системе, ухудшению **качества обработки** и требует вынужденной **остановки** оборудования.

Попыткой решения задачи обеспечения надежности работы сборного многолезвийного режущего инструмента в условиях неорганизованного набора режущих зубьев был способ автоматизированного определения допустимой скорости фрезерования на основе измерения термоЭДС пробного прохода на фиксированных режимах обработки ($v = 100 \text{ м/мин}$, $s = 0,1 \text{ мм/об}$, $t = 1 \text{ мм}$), где величина термоЭДС использовалась как информация не о температуре резания, а о физико-механических свойствах контактируемой пары [2].

Сущность способа заключается в том, что перед началом обработки производят пробный проход фрезой по стальной заготовке, выполняют преобразование аналогового сигнала термоЭДС каждой режущей кромки в цифровой с помощью аналого-цифрового преобразователя и выделяют максимальное значение термоЭДС, по которому рассчитывают допустимую скорость резания.

Недостатком данного способа является то, что допустимая скорость резания, устанавливаемая по максимальной величине термоЭДС режущей кромки в комплекте инструмента, имеет пониженное значение, которое ограничивает увеличение производительности процесса резания и способствует недоиспользованию режущих свойств других твердосплавных пластиин в комплекте фрезы, что снижает эффективность обработки.

Для устранения указанных недостатков был предложен способ определения допустимой скорости фрезерования. Он учитывает режущие свойства каждой твердосплавной пластиинки в комплекте фрезы и методом пересчета величины стойкости каждой твердосплавной пластиинки из набранного

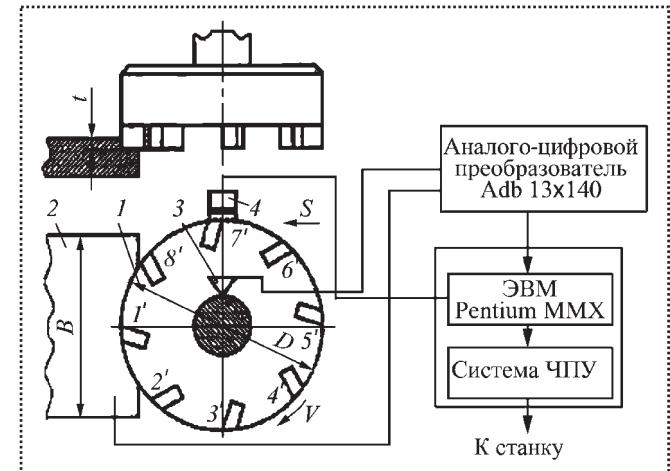


Схема контроля состояния собранного комплекта режущих твердосплавных пластиин восемизубой торцовой фрезы:
1 – фреза; 2 – заготовка; 3 – контакт системы ЧПУ и инструмента; $1' \dots 8'$ – твердосплавные пластиинки

комплекта определяет скорость фрезерования, которая обеспечивает заданное время работы собранного комплекта и более полное использование его режущих свойств [3].

Способы можно реализовать на фрезерных станках, оснащенных системами ЧПУ типа PC-NC (см. рисунок). При этом появляется возможность визуального контроля состояния режущих зубьев сборной фрезы на мониторе системы ЧПУ [4]. В обоих случаях скорость v , м/мин, фрезерования рассчитывалась по предложенной формуле (1):

$$v = \frac{(625 - 24,7E)D_{\phi}^{0,2}}{T^{0,2}t^{0,1}s_z^{0,4}B^{0,2}E^{0,24}}, \quad (1)$$

где E – максимальная или среднеарифметическая величина термоЭДС твердосплавных пластиин из набора фрезы, выявленная аппаратным способом в условиях пробного прохода фрезы по стальной заготовке при полной ширине симметричного фрезерования, мВ;

D_{ϕ} – диаметр фрезы, мм;

t , s_z , B – соответственно глубина фрезерования, подача на зуб фрезы, ширина фрезерования.

Отличительной особенностью формулы (1) является то, что в ней постоянный скоростной коэффициент C_v заменен зависимостью $(625 - 24,7 E)$, которая через величину E термоЭДС пробного



прохода учитывает изменение физико-механических свойств каждой контактной пары.

При всех положительных моментах использования описанных способов в условиях неорганизованного набора комплекта зубьев фрезы, они решают частную задачу поднастройки скорости фрезерования с его случайным расположением режущих зубьев, неоднородных по качеству (режущим свойствам). Так, может иметь место случай расположения друг за другом двух и более режущих пластин (зубьев) с пониженными режущими свойствами, что требует переоснащения комплекта. При этом не исключалась вероятность того, что замененные твердосплавные пластинки окажутся также с пониженными режущими свойствами.

Повысить надежность и эффективность работы сборного многолезвийного инструмента возможно при использовании организованного набора, предусматривающего **предварительную сортировку твердосплавных пластин на группы** с одинаковыми режущими свойствами для последующей комплектации сборных фрез. Такой подход позволит обеспечить рациональное использование инструментального материала и повысить вероятность безотказной работы инструмента в течение заданного периода времени за счет равномерного количественного изнашивания всех режущих кромок.

Термоэлектрическая характеристика твердосплавных пластин на основе пробного прохода имеет хорошую корреляцию с их режущими свойствами, но как контактный способ предварительной сортировки в массовом производстве трудно реализуем. При сортировке твердосплавных пластин с ориентацией на автоматизацию предпочтение имеет бесконтактный способ.

Установку твердосплавных пластин с заранее определенными режущими свойствами (из одной группы распределения в партии поставки) в комплект сборного многолезвийного инструмента предлагается называть **организованным набором** режущих элементов.

Для повышения надежности работы сборных фрез предложен комбинированный способ определения допустимой скорости фрезерования с предварительным измерением коэрцитивной силы твердосплавных пластин (бесконтактным способом) и последующим выборочным измерением их термоЭДС по обрабатываемой заготовке.

Способ реализуют следующим образом. У твердосплавных режущих пластин одной геометрической формы и марки твердого сплава измеряют величину коэрцитивной силы H_c в ручном или автоматическом режиме. Известные значения коэрцитивной силы представляют в виде гистограммы распределения с делением на 6...10 групп. Интервал значений каждой группы не должен превышать величину $[\Delta H_c] = 8$ э. В этом случае режущие свойства (износстойкость) твердосплавных пластин отличаются между собой не более чем на 10 %.

В зависимости от числа пластин со значениями коэрцитивной силы, объединенных в одну группу, определяют минимально необходимое количество n пластин из одной группы для требуемой достоверности P расчетов. Для n выбранных пластин на фиксированных режимах обработки ($v = 100$ м/мин, $s = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм) измеряют значения термоЭДС по обрабатываемой стальной заготовке. При количестве пластин в группе $n \leq 3$ измерение термоЭДС пробного прохода производят для всех пластин в группе.

На основании полученных данных для каждой группы распределения строят линейную зависимость, по которой определяют постоянные коэффициенты k и b , характеризующие связь между термоЭДС и коэрцитивной силой пластин. Указанные коэффициенты имеют разное численное значение для каждой группы распределения, обусловленное различными режущими способностями твердосплавных пластин в партиях поставки.

Для твердосплавных пластин из одной группы распределения определяют допустимую скорость резания с учетом известных постоянных коэффициентов данной группы k , b и величины коэрцитивной силы H_c по формуле (2):

$$v = \frac{[625 - 24,7(kH_c + b)]D_{\phi}^{0.2}}{T^{0.2} t^{0.1} s_z^{0.4} B^{0.2} (kH_c + b)^{0.24}}, \quad (2)$$

где H_c – среднее значение коэрцитивной силы для одной группы распределения, э.

Экспериментальную проверку предлагаемого способа проводили при симметричном фрезеровании заготовок из стали 45 восьмизубой торцовой фрезой диаметром 100 мм, оснащенной пятигранными твердосплавными пластинами марки Т5К10, при ширине фрезерования $B = 80$ мм, глубине



$t = 3$ мм, подаче на зуб $s_z = 0,1$ мм/зуб. Условием надежной работы фрезы принимали отсутствие вибраций, превышающих допустимый уровень, и сохранение расчетного времени ее работы.

Максимальная величина фаски износа по задней грани Δh для каждого комплекта была близка к допустимому значению $\Delta h = 0,5$ мм для получистового и чистового фрезерования.

Использование в рассмотренном способе предварительного бесконтактного измерения коэффициентной силы дает возможность оценить разброс режущих свойств всей партии твердосплавных пластин, что позволяет определять величину термо-ЭДС пробного прохода только для минимально необходимого количества контактируемых пар инструмент – деталь для каждой группы распределения. Такой подход обеспечивает повышение точности расчета допустимой скорости фрезерования, которая в конечном итоге определяет надежную работу сборного инструмента в течение заданного периода времени.

Вывод

Предложен комбинированный способ предварительной сортировки режущих твердосплавных пластин на группы с одинаковыми режущими свойствами для комплектации сборного многолезвийного инструмента, обеспечивающий расчетное время его работы на автоматизированном станочном оборудовании.

Библиографический список

- Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1989. 296 с.
- Пат. РФ № 2203778. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов // А.Л. Плотников, А.А. Василенко // Б.И., 2003. № 13.
- Пат. РФ № 2312750. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов // А.Л. Плотников, Е.Г. Крылов // Б.И., 2007. № 35.
- Плотников А.Л., Крылов Е.Г. Способ повышения эффективности работы многолезвийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2007. № 9. С. 39–41.



ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ:

учебник для студентов машиностроительных специальностей

А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, А.Ф. Вязов и др.

6-е издание 592 с.: ил ISBN 5-217-03311-8

Цена 319 р. с НДС

Рассмотрены современные и перспективные технологические способы производства черных и цветных металлов, изготовление заготовок и деталей машин из металлов и неметаллических материалов: литьем, обработкой давлением, сваркой, резанием и другими способами, а также прогрессивные малоотходные способы изготовления заготовок и деталей из порошковых материалов.

Шестое издание (5-е изд. 2003 г.) исправлено и дополнено новыми материалами по нанотехнологиям, публикацией задачника по всем основным разделам курса с доведением решения задач до числового значения. При этом обеспечивается очень тесная связь методического характера с учебным материалом в его приложении к технологии. В этом проявляется, в частности, старый мудрый принцип: "Знать – значит уметь!".

Учебник подготовлен коллективом преподавателей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

Гриф Минобрнауки

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Строгановский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

УДК 621.83(038)-00-20-82

В.Е. Старжинский, д-р техн. наук (Институт механики металлокомпозитных систем им. Н.А. Белого НАН Беларусь, г. Гомель);
В.Е. Антонюк, д-р техн. наук, **М.М. Кане**, д-р техн. наук (Белорусская государственная политехническая академия);
Е.В. Шалобаев, канд. техн. наук (Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики);
С.В. Шилько, канд. техн. наук (Институт механики металлокомпозитных систем им. Н.А. Белого НАН Беларусь, г. Гомель)

Словарь-справочник по зубчатым передачам русско-английско-немецко-французский. Продолжение*

Словарь-справочник является первой попыткой обобщить, идентифицировать и представить состояние терминологии в области зубчатых передач на наиболее распространенных в технике русском, английском, немецком и французском языках.

В "словарь-справочник" включены собственно русско-английско-немецко-французский словарь по зубчатым передачам, содержащий около 900 терминов с английским, немецким и французским алфавитными указателями; иллюстрации с названиями элементов и геометрических параметров цилиндрических, конических, гипоидных и червячных передач и элементов их зубьев; иллюстрированный словарь-справочник по зуборезному инструменту, а также термины, характеризующие форму и расположение пятна контакта на зубьях колес конических передач. Словарь-справочник предназначен для научно-технических работников, преподавателей и аспирантов, работающих в области зубчатых передач; может быть также полезен переводчикам технической литературы.

This "Dictionary-hand-book of gearings" is the first attempt to summarize, identify and introduce terminology in gear wheel sphere on most widespread technical languages – Russian, English and French.

"Dictionary-hand-book of gearings" consist of Russian-English-German-French dictionary itself, which contains about 900 terms with English, German and French indexes; illustrations of element's names and geometric parameters of cylindrical, cone, hypoid and worm gears and their teeth elements; illustrated dictionary-and-reference book of gear-cutting tools; and also terms, describing tooth-contact form and location on cone gear wheels.

"Dictionary-hand-book of gearings" may be useful for scientific and technical specialists, teachers and postgraduates, who is working in gear wheel sphere. It is also may be useful for technical literature translators.

Ключевые слова: зубчатая передача, геометрический параметр, цилиндрическая передача, коническая передача, гипоидная передача, червячная передача.

Key words: gear wheel, geometric parameter, cylindrical gear, cone gear, hypoid gear, worm gear.

* Начало см. "Сборка в машиностроении, приборостроении", № 3, 4, 7–9, 2007; № 1, 2, 4, 2008.

Основные термины, относящиеся к геометрическим параметрам цилиндрических, конических, гипоидных и червячных передач

Basic terms concerning geometrical parameters of cylindrical, bevel, hypoid and worm gear pairs

Hauptbegriffe, bezogen auf parameter der Zylinder-, -kegel-, -hypoid, und Schneckengetriebe

Termes principaux concernant les paramètres géométriques des engrenages cylindriques, coniques, hypoids et à vis

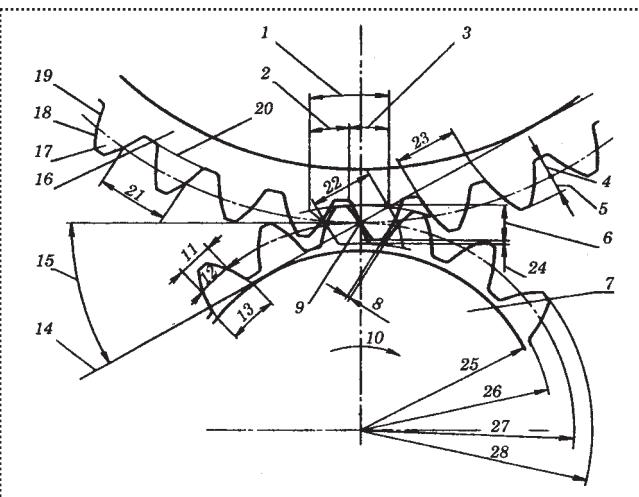


Рис. 1. Прямозубая цилиндрическая зубчатая передача spur gear pair Stirnradpaar Engrenage cylindrique droit:

1 – дуга активной линии зацепления arc of action Eingriffsbogen arc d'action; 2 – дуга дополисной части активной линии зацепления arc of approach Finlauf-Eingriffsbogen arc d'approche d'action; 3 – дуга заполисной части активной линии зацепления arc of recess Auslauf-Eingriffsbogen arc de retraite d'action; 4 – высота ножки зуба dedendum Zahndfußhöhe creux de dent; 5 – высота головки зуба addendum Zahnkopfhöhe saillie de dent; 6 – глубина захода working depth Eingriffstiefe hauteur utile; 7 – шестерня pinion Kleinrad pignon; 8 – боковой зазор backlash Flanken-Spiel jeu entre dents; 9 – полюс зацепления pitch point Wälzpunkt point primitif; 10 – направление вращения direction of rotation Drehsinn direction

de rotation; 11 – толщина зуба по хорде chordal tooth thickness Zahndicke *sépaisseur* corde; 12 – окружная толщина зуба circular tooth thickness Zahndicke im Teilkreis épaisseur apparente de dent; 13 – основная окружная толщина зуба transverse base thickness Zahndicke auf dem Grundzylinder épaisseur de base apparente de dent; 14 – линия зацепления line of action Eingriffslinie ligne d'action; 15 – угол зацепления pressure angle Betriebseingriffswinkel angle de pression; 16 – зубчатое колесо gear Zahnrad roue d'engrenage; 17 – зуб tooth Zahn dent; 18 – боковая поверхность головки зу́ба addendum flank Kopfflanke flanc de saillie de dent; 19 – боковая поверхность ножки зу́ба dedendum flank Fußflanke flanc de creux de dent; 20 – основание зу́ба root Zahnfuß pied de dent; 21 – окружной шаг circular pitch Teilkreisteilung pas circulaire; 22 – длина активной линии зацепления length of action Eingriffslänge longueur d'action; 23 – основной шаг базы pitch Gründkreisteilung pas de base; 24 – радиальный зазор clearance Kopfgrundspiel vide à fond de dent; 25 – основной диаметр базы diameter Gründkreisdurchmesser diamètre de base; 26 – диаметр окружности впадин root diameter Fußkreisdurchmesser diamètre de pied; 27 – начальный диаметр pitch diameter Walzkreisdurchmesser diamètre primitif de fonctionnement; 28 – диаметр вершин outside diameter Kopfkreisdurchmesser diamètre de tête.

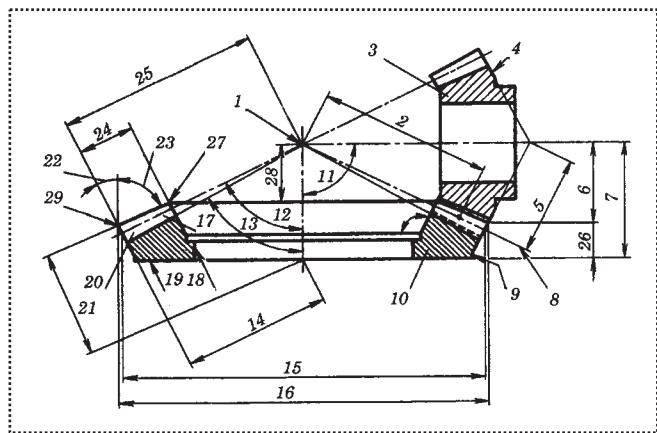


Рис. 2. Коническая зубчатая передача

bevel gear pair **Kegelradgetriebe** *Engrenage conique*:
 1 – точка пересечения (вершина конического зубчатого колеса (ЗК)) crossing point (reference cone apex) **Schnittpunkt der Achsen** (*Teilkegelspitze*) *point d'intersection* (*sommet de cône de référence*); 2 – среднее конусное расстояние mean cone distance **mittlere Kegeldistanz** (*mittlerer Teilkegellänge*) *longueur génératrice du cône moyenne*; 3 – шестерня pinion **Kleinrad** (*Ritzel*) *pignon*; 4 – внешний дополнительный конус back cone **äußerer Ergänzungskegel** (*Rückenkegel*) *cône complémentaire externe*; 5 – среднее конусное расстояние по внешнему дополнительному конусу back cone distance **Rückenkegeldistanze** *longueur de génératrice moyenne de cône complémentaire externe*; 6 – расстояние от точки пересечения до плоскости внешней окружности вершин зубьев crown to crossing point **Abstand der äußerer Kopfkegelkante bis zum Schnittpunkt der Achsen** *distance cercle de tête externe-point d'intersection*; 7 – базовое расстояние колеса конической зубчатой передачи (ЗГ) в сборе до опорной базовой поверхности gear mounting distance **Schulterabstand** *distance de départ*; 8 – полюсная линия pitch element **Wälzpunktlinie** *ligne primitive*; 9 – измерительное сечение зуба (конического ЗК) measuring plane **Meßfläche** *section de mesure*; 10 – колесо gear **Zahnrad** *roue*; 11 – межосевой угол shaft angle **Achswinkel** *angle des axes*; 12 – угол начального конуса

pitch angle *Wälzkegelwinkel* angle primitif de fonctionnement;
 13 – угол конуса впадин root angle *Fußkegelwinkel* angle de creux; 14 – внешнее конусное расстояние до базовой плоскости back angle distance *äußerer Kegeldistanz bis zum Schulterfläche* longueur de génératrice externe de cône complémentaire; 15 – внешний делительный диаметр outer reference diameter *äußerer Teilkreisdurchmesser* diamètre de référence externe; 16 – внешний диаметр вершин зубьев outer tip diameter *äußerer Kopfkreisdurchmesser* diamètre de tête externe; 17 – носик (зуба) toe *Zehe avant de dent*; 18 – базовая поверхность (при зубопрофилировании методом обката) mounting generating surface *Bezugsfläche* face de base de fonctionnement; 19 – опорная базовая поверхность registering surface (locating face) *Schulterfläche (Bezugstirnfläche)* face de départ; 20 – пятка (зуба) heel *Ferse arrière de dent*; 21 – дополнительное внешнее конусное расстояние до базовой плоскости face angle distance *zusätzlicher äußerer Rüchenkegeldistanz bis zum Schulterfläche* longueur de génératrice externe complémentaire; 22 – угол внешнего дополнительного конуса back angle *Rückenwinkel* angle de cône complémentaire externe; 23 – угол конуса вершин face (tip) angle *Kopfkegelwinkel* angle de cône de tête; 24 – ширина зубчатого венца face width *Zahnbreite* largeur de denture; 25 – внешнее конусное расстояние outer cone distance *äußerer Kegeldistanz [äußerer Teilkegellänge]* longueur de génératrice de cône externe; 26 – расстояние от базовой плоскости (конического ЗК) до плоскости внешней окружности вершин зубьев crown to back (top distance) *Kopfkreisabstand* distance de cercle de tête externe; 27 – точка пересечения образующих конуса вершин и внутреннего дополнительного конуса high point *innere Kopfkegelkante* point supérieur; 28 – расстояние от плоскости внутренней окружности вершин зубьев (конического ЗК) до оси шестерни pinion axis to high point plane *Abstand vom Schnittpunkt bis zur innerer Kante des Kopfkegels* distance axe de pignon – plan du point supérieur (cercle de tête interne); 29 – внешняя окружность вершин зубьев crown circle (tip circle) *äußere Kopfkegelkante* cercle externe de tête de dents.

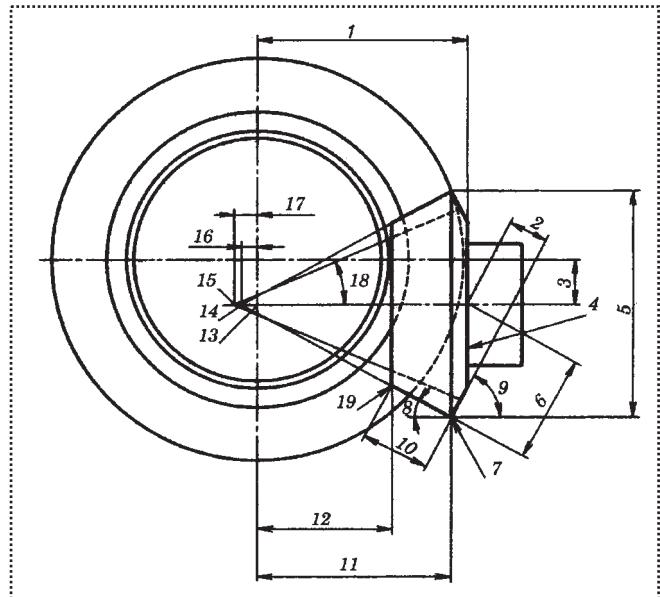


Рис. 3. Гипоидная передача

hypoid gear pair *Hypoidgetriebe Engrenage hypoid*:
I – базовое расстояние шестерни ЗП в сборе от оси колеса до заднего опорного торца pinion mounting distance (pitch cone



apex to crown) *Schulterabstand distance de départ de pignon; 2 – внешнее конусное расстояние (конического ЗК) до базовой плоскости back angle distance *äußerer Kegeldistanz bis zum Schulterfläche longueur de génératrice de roue conique externe; 3 – межосевое расстояние (смещение оси шестерни) offset Achsversetzung excentrement des axes de pignon; 4 – опорная базовая поверхность registering surface (locating face) *Schulterfläche; 5 – внешний диаметр вершин outer diameter *äußerer Kopfkreisdurchmesser diamètre de tête externe; 6 – дополнительное внешнее конусное расстояние (конического ЗК) до базовой плоскости face angle distance zusätzlicher *äußerer Rüchenkegeldistanz bis zum Schulterfläche longueur de génératrice externe complémentaire; 7 – внешняя окружность вершин зубьев crown circle *äußerer Kopfkegelkante cercle de tête externe; 8 – угол конуса вершин face (tip) angle *Kopfkegelwinkel angle de cône de tête; 9 – угол внешнего дополнительного конуса back angle *Rückenwinkel angle de cône complémentaire externe; 10 – ширина зубчатого венца face width *Zahnbreite largeur de denture; 11 – расстояние от точки пересечения до плоскости внешней окружности вершин зубьев crown to crossing point *Abstand von der äußerer Kopfkegelkante bis zum Schnittpunkt distance cercle de tête externe – point d'intersection; 12 – расстояние от точки пересечения до плоскости внутренней окружности вершин зубьев front crown to crossing point *Abstand von der innerer Kopfkegelkante bis zum Schnittpunkt distance cercle de tête interne – point d'intersection; 13 – точка пересечения crossing point *Schnittpunk (Teilkegelspitze) point d'intersection; 14 – вершина конуса вершин зубьев tip (face) cone apex *Kopfkegelscheitel sommet du cône de tête; 15 – вершина конуса впадин root cone apex *Fußkegelscheitel sommet du cône de pied; 16 – расстояние от вершины конуса вершин зубьев до точки пересечения face apex to crossing point *Abstand von der Kopfkegelscheitel bis zum Schnittpunkt distance sommet du cône de pied – point d'intersection; 17 – расстояние от вершины конуса впадин до точки пересечения root apex to crossing point *Abstand der Fußkegelscheitel bis zum Schnittpunkt distance sommet du cône de pied – point d'intersection; 18 – угол конуса впадин root angle *Fußkegelwinkel angle du cône de pied; 19 – внутренняя окружность вершин зубьев front crown circle innerer Kopfkegelkante cercle de tête interne.*****************

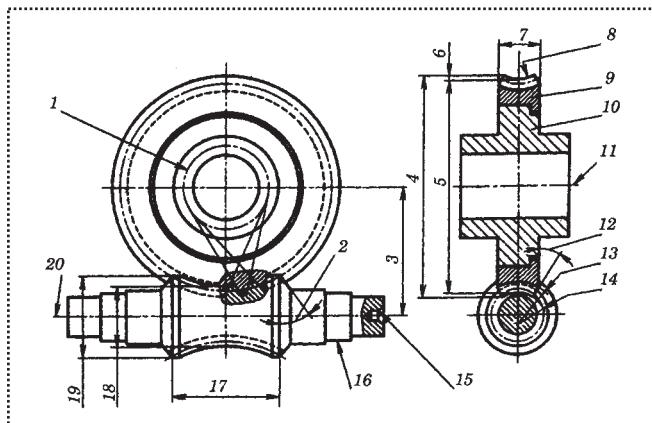


Рис. 4. Глобоидная передача

double-enveloping (hourglass) worm gear pair *Globoid-Schneckengetriebe Engrenage à vis globique:*

1 – профильная окружность base circle *Profilkreis cercle: profil [de base]; 2 – угол крайней кромки витка червяка worm face angle *Randachsenwinkel des Schneckenwindungprofils angle de largeur de vis; 3 – межосевое расстояние center distance**

*Achsabstand entraxe; 4 – наибольший диаметр червячного колеса worm gear outside diameter *Der größte Durchmesser aus Schneckenrad diamètre extérieur de roue à vis; 5 – средний диаметр червячного колеса gear throat diameter *Mittenkreisdurchmesser des Schneckenrads diamètre de tête de roue à vis; 6 – стрелка дуги поверхности вершин зубьев колеса addendum incement *Schneckenrad Kopfzeiger incrément de saillie; 7 – ширина червячного колеса gear face width *Schneckenradzahnbreite largeur de denture de roue à vis; 8 – выемка поверхности вершин зубьев червячного колеса throat form surface *Schneckenradabköpfung gorge de surface de roue à vis; 9 – зубчатый венец gear ring *Zahnradkranz denture; 10 – ступица hub *Radnabe moyeu; 11 – ось червячного колеса worm gear axis *Shneckenradachse axe de roue à vis; 12 – торцовый угол зубчатого венца gear face angle *Zahnradkranz-Stirnprofilwinkel des Schneckenrads angle de largeur de denture; 13 – радиус фрезы при обработке червячного колеса worm gear hob radius *Fräzerradius der Schneckenradbearbeitung rayon de fraise de roue à vis; 14 – максимальный радиус фрезы maximum hub radius *Maximalfräzerradius rayon de fraise maximum rayon de fraise maximum; 15 – базовая поверхность (при зубопрофилировании методом обкатки) mounting generating surface *Bezugsfläche (bei der Wälzzahnprofilierung) face de base de fonctionnement; 16 – базовая поверхность (при установке детали) mounting surface *Bezugsfläche (bei der Aufstellung vom Einzelteil) face de départ; 17 – длина нарезанной части червяка worm face width *Länge des Schneckenwindeteils longueur de vis; 18 – средний диаметр вершин витков глобоидного червяка worm throat diameter *Mitteldurchmesser der Globoid-Schnecke diamètre de tête de vis; 19 – наибольший диаметр витков глобоидного червяка worm outer diameter *Der größte Durchmesser aus Globoidschnecke diamètre extérieur de vis; 20 – ось червяка worm axis *Schneckenachse axe de vis.******************

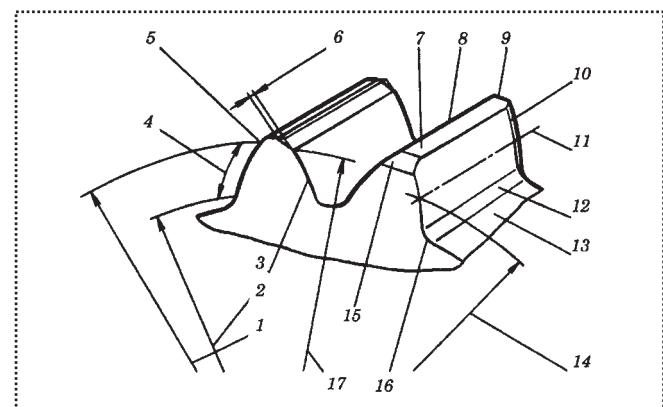


Рис. 5. Зубья прямозубого цилиндрического зубчатого колеса spur gear teeth *Stirnrad mit geraden Zähnen Dents de la roue dentée cylindrique à denture droite:*

1 – диаметр окружности верхних точек активных профилей effective outside diameter *Kreisdurchmesser der A u benaktivpunkte diamètre supérieur effectif; 2 – диаметр окружности нижних точек активных профилей form diameter *Kreisdurchmesser der Innenaktivpunkte diamètre inférieur effectif; 3 – профиль зуба tooth profile *Zahnprofil profil de dent; 4 – активный профиль***

active profile *actives Profil profil actif*; 5 – поверхность притупления продольной кромки зуба tip round *Verschlagfläche der Kopfkante arrondi d'arête longitudinale de dent*; 6 – модификация профиля головки tip relief *Kopfhöhenballigkeit relief de saillie*; 7 – вершина зуба top land *Zahnspitze surface de tête*; 8 – продольная кромка зуба tip *Kopfkante arête longitudinale de dent*; 9 – торцевая кромка зуба end *Stirnzahnkante arête apparente de dent*; 10 – поверхность притупления боковой кромки зуба edge round *Verschlagfläche der Zahnflankkante arrondi d'arête latérale de dent*; 11 – полносная линия pitch element *Wälzlinie ligne primitive*; 12 – переходная поверхность fillet surface *Fußrundungsfläche flanc de raccord*; 13 – дно впадины bottom land *Zahngrund fond d'entredent*; 14 – делительный (начальный) диаметр reference (pitch) diameter *Teilkreisdurchmesser (Wälzkreisdurchmesser) diamètre de référence [primitif de fonctionnement]*; 15 – поверхность притупления торцовой кромки зуба end round *Verschlagfläche der Stirnzahnkante arrondi d'arête apparente de dent*; 16 – переходная кривая fillet curve *Fußausrundungskurve courbe de filet*; 17 – диаметр окружности модификации головок зуба start of modification diameter *Balligkeits-Kreisdurchmesser der Kopfhöhen diamètre de modification de saillie de dent*.

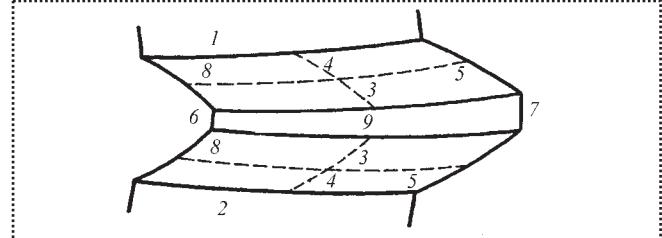


Рис. 6. Элементы зуба конического колеса
bevel gear teeth *Kegelrad mit geraden zähnen Dents de la roue dentée conique*:

1 – вогнутая сторона зуба concave side of tooth *konkave Zahnflanke flanc concave de dent*; 2 – выпуклая сторона зуба convex side of tooth *konvexe Zahnflanke flanc convexe de dent*; 3 – боковая поверхность головки зуба face *Zahnoberseite flanc de tête de dent*; 4 – боковая поверхность ножки зуба flank *Flanke flanc de pied de dent*; 5 – боковая поверхность зуба у его внешнего конца (пятки) heel *Ferse arrière*; 6 – внутренний конец зуба inner end of tooth *inneres Zahnende extrémité interne de dent*; 7 – внешний конец зуба outer end of tooth *äusseres Zahnende extrémité externe de dent*; 8 – боковая поверхность зуба у его внутреннего конца (носка) toe *Zehe avant*; 9 – поверхность вершины зуба top land *Kopffläche surface de tête de dent*.

Иллюстрированный словарь-справочник по зубообрабатывающему инструменту Illustrated dictionary-reference of terms on gear cutting tools Illustriertes wörterbuch-nachsenschlagewerk für das zahnbearbeitendes werkzeug Dictionnaire-férence illustré des termes des outils à tailler les engrenages

ФРЕЗЫ ДИСКОВЫЕ ЗУБОРЕЗНЫЕ DISC TYPE GEAR CUTTERS ZAHNFORMFRÄSER FRAISES À TAILLER LES ENGRENAGES



Рис. 7. Фрезы дисковые зуборезные профильные с нешлифованным профилем для цилиндрических прямо- и косозубых колес, с углом исходного контура 20° , затылованные.

Involute gear cutters, unground, module sizes, pressure angle 20°
Zahnformfräser für Stirn- und Schraubenräder, Eingriffswinkel 20° , hinterdreht
Fraises à tailler les roués droites et helicoidaux cylindriques, profil constant, angle de pression 20°

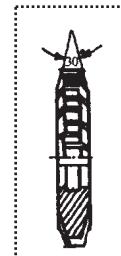


Рис. 9. Фрезы дисковые для трапецидальной резьбы и фрезы для червяков с периодически чередующимися зубьями и с одним контрольным зубом

Trapezoidal thread milling cutters and module sizes, alternate teeth, with one tooth left for measuring

Trapezgewindefräser und Schneckenfräser mit versetzt gefrästen Zähnen und einem Kontrollzahn
Fraises à filet trapézodal et pas selon Module, avec dents fraises alternées et une dent de calibrage

ФРЕЗЫ ЧЕРВЯЧНЫЕ GEAR HOBS WÄLZFRÄSER FRAISES VIS-MÈRES

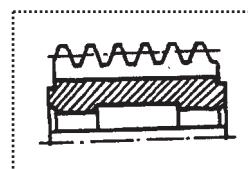
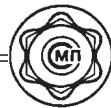


Рис. 10. Фрезы червячные с продольной шпоночной канавкой, правозаходные сошлифованным и с нешлифованным профилем для цилиндрических прямо- и косозубых колес, модульные, с углом профиля 20° , исходный контур II или I по DIN 3972

Spur and helical gear hobs, modul sizes, pressure angle 20° , unground and ground, according to DIN 3972



Wälzfräser mit Längsnut, rechtsgängig für Stirn- und Schraubenräder der nach Modul, Eingriffswinkel 20°, Bezugsprofil II oder I nach DIN 3972

Fraises Vis-Mères pour tailler les engrenages droits, suivant Module, angle de pression 20°, profil constant et rectifié, selon DIN 3972

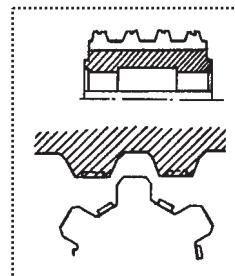


Рис. 11. Фрезы червячно-шлифованные для прямобочных шлицевых валов по DIN 5464

Involute spline hobs, ground, according to DIN 5464

Wälzfräser mit Längsnut, rechtsgängig, für Keilwellen nach DIN 5464

Fraises Vis-Mères pour profils cannelés, selon DIN 5464, profil rectifié

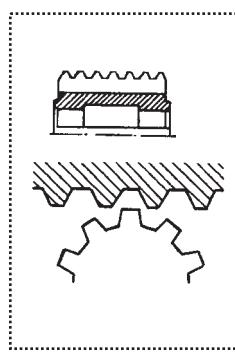


Рис. 12. Фрезы червячные с продольным шпоночным пазом, шлифованные для нарезания валов шлицевых с эвольвентным профилем по DIN 5482, угол исходного контура 30°

Involute spline hobs, ground, according to DIN 5482

Wälzfräser mit Längsnut, rechtsgängig, für Zahnwellenprofile mit Evolventenflanken nach DIN 5482, Eingriffswinkel 30°

Fraises vis-mères pour profils cannelés dévlopante, selon DIN 5482, angle de pression 30°, profil rectifié

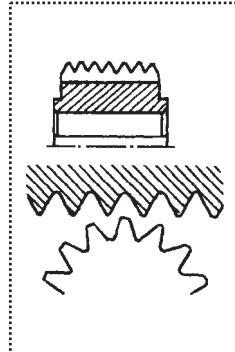


Рис. 13. Фрезы червячные с продольным шпоночным пазом, с прямолинейным шлифованым профилем для нарезания мелкошлифовых валов по DIN 5481

Serration hobs, ground, for relief according to DIN 5481

Wälzfräser mit Längsnut, rechts-gängig, mit geraden Flanken für gewölbte Werkstückflanken, für Kerbzahnwellen nach DIN 5481

Fraises vis-mères pour dentelures selon DIN 5481, profil rectifié

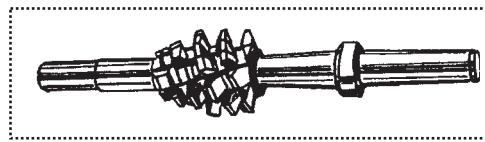


Рис. 14. Фрезы червячные для червячных колес со шлифованым или нешлифованным профилем для работы с радиальной или тангенциальной подачей

Worm gear hobs, unground and ground, radial-feed or tangential-feed method

Schneckenrad-Wälzfräser aus HSS hinterdreht und hinter-schliffen, für das Radial- und Tangential-Verfahren

Fraises vis-mères à tailler les roues à vis sans fin, profil constant et profil rectifié, pour procédé radial et tangentiel

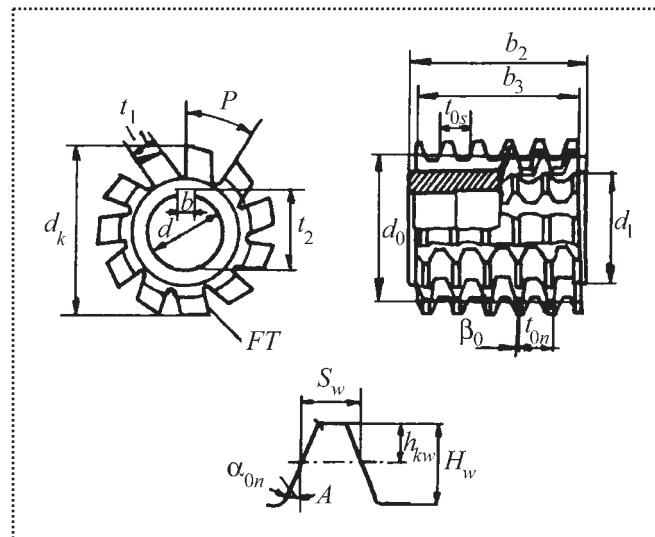


Рис. 15. Фрезы червячные цельные для нарезания цилиндрических зубчатых колес

Solid type gear hobs for cylindrical gears

Vollstahl-Wälzfräser für Stirnräder

Fraises-mères monoblocs pour taillage de roues cylindriques

1. Основные термины

Русский	Английский	Немецкий	Французский
Цельные червячные фрезы	Solid type hobs	Vollstahl-Wälzfräser	Fraise-mère monobloc
Черновые червячные фрезы	Roughing Hobs	Räumzahn-Wälzfäzer	Fraise-mère à défoncer
Червячные фрезы с поворотными лезвиями	Inserted-segment hobs	Stollen- Wälzfräser	Fraise-mère à lames rapportées
Червячные фрезы для чистовой обработки закаленных колес	Skiving hobs	Schäl-Wälzfräser	Fraise-mère de skiving
Черновые червячные фрезы со вставными лезвиями	Inserted-blades hobs	Messerschienen-Wälzfräser	Fraise-mère a lames rapportées
Черновые червячные фрезы со сменными твердосплавными пластинами	Roughing hobs with carbide indexable inserts	Schrupp-Wälzfräser mit Hartmetall-Wendeschreidplatten	Fraise-mère ébauche avec plaquettes carbure reversibles



2. Геометрические параметры

Обозначение	Русский	Английский	Немецкий	Французский
b_2	Общая длина	Overall length	Gesamtlänge	Longueur totale
b_3	Рабочая длина	Effective length	Verzahnte Länge	Longueur effective
d_k	Наружный диаметр	Outside diameter	Aussendurch-messer	Diamètre extérieur
d	Диаметр отверстия	Bore diameter	Bohrung	Diamètre d'alesage
b	Ширина шпоночного паза	Key width	Keilnutenbreite	Largeur de rainure de clavetage
t_2	Глубина шпоночного паза	Key height	Keilnutenhöhe	Hauteur de rainure de clavetage
d_1	Диаметр буртиков	Hub diameter	Prüfbund	Diamètre de liteau
t_1	Длина зуба	Tooth length	Zahnlänge	Longueur de dent
P	Окружной шаг канавок	Spacing between adjacent flutes	Spannuten-teilung	Pas de denture
FT	Передняя поверхность	Cutting face	Schneidbrust	Face de coupe
A	Профиль в нормальном сечении	Normal profile	Normalprofil	Profil reel
m	Модуль	Module	Modul	Module
α_{0n}	Угол исходного контура в нормальном сечении	Pressure angle	Normaleingriffswinkel	Angle de pression
t_{0s}	Осевой шаг	Axial pitch	Axialsteigung	Pas axial
t_{0n}	Шаг в нормальном сечении	Normal pitch	Normalsteigung	Pas normal
β_0	Угол подъема витков	Lead angle	Schrägungs-winkel	Angle d'hélice
s_w	Толщина зуба	Tooth thickness	Zahndicke	Épaisseur de dent
H_w	Высота зуба	Tooth depth	Zahnöhe	Hauteur de dent
d_0	Делительный диаметр	Pitch diameter	Nenndurch-messer	Diamètre primitif de référence

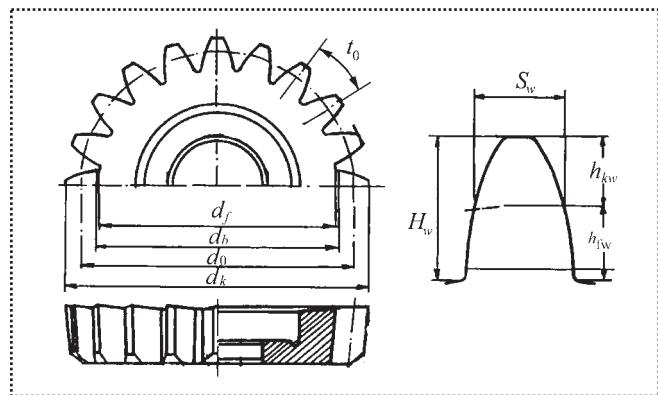
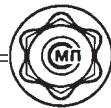


Рис. 16. Долбяки зуборезные
Pinion type cutters for spur gears
Schneidräder für Stirnräder
Couteaux à tailler les engrenages

3. Геометрические параметры

Обозначение	Русский	Английский	Немецкий	Французский
m	Модуль	Module	Modul	Module
m_n	Модуль в нормальном сечении	Normal module	Normalmodul	Module réel
d_{kn}	Диаметр вершин зубьев изношенного инструмента	Utilizable tip diameter	Korfm-Nutzkreisdurch-messer	Diamètre de tête utilisable
x_0	Коэффициент смещения исходного контура	Addendum modification	Profil-verschiebungsfactor	Coefficient de déport
R	Направление правое	Right-hand	Rechtsgängig	Sens à droite



Обозначение	Русский	Английский	Немецкий	Французский
L	Направление левое	Left-hand	Linksgängig	Sens à gauche
F_r	Радиальное биение	Radial run-out	Rundlauf	Faux-rond
β_0	Угол наклона винтовой линии	Helix angle	Schrägungs-winkel	Angle d'hélice
λ_0	Угол подъема винтовой линии	Lead angle	Steigungswinkel	Inclinaison (d'hélice)
m_t	Модуль в торцовом сечении	Transverse module	Sürnmodul	Module apparent
d_0	Диаметр делительной окружности	Reference diameter	Teilkreisdurchmesser	Diamètre primitif de référence
t_0	Шаг	Pitch	Teilung	Pas
z	Число зубьев	Number of teeth	Zähnezahl	Nombre de dents
s_w	Толщина зуба	Tooth thickness	Zahndicke	Épaisseur de dent
h_{fw}	Высота ножки зуба	Root, dedendum	Zahnfuß	Pied, creux
H_w	Высота зуба	Tooth depth	Zahnhöhe	Hauteur de dent
h_{kw}	Высота головки зуба	Tip, addendum	Zahnkopf	Tête, saillie
L_t	Длина общей нормали	Base tangent length	Zahnweite über K Zähnen	Ecartement sur K dents
m_a	Модуль в осевом сечении	Axial module	Axialmodul	Module axial
D_r	Диаметр по роликам или шарикам	Dimension over balls or pins	Diametrales Zweikugelmaß bzw. Zweirollenmaß	Cote sur billes ou galets
d_k	Диаметр наружный	Diameter outer	Außerer Durchmesser	Diamètre extérieur
a_0	Угол зацепления или угол профиля исходного контура	Pressure angle of basic rack	Fingriffswinkel, Profilwinkel	Angle de pression (ou d'incidence)
h_f	Высота ножки зуба исходного контура	Dedendum of basic rack	Fußhöhe des Bezugsprofils	Creux de la crémaillère de référence
d_f	Диаметр впадин	Root diameter	Fußkreisdurchmesser	Diamètre de pied
d_{fn}	Диаметр впадин зубьев предельно изношенного инструмента	Utilizable root diameter	Fußnutzkreis-Durchmesser	Diamètre de pied utilisable
d_b	Диаметр основной окружности	Base diameter	Grundkreisdurchmesser	Diamètre de base
h_a	Высота головки зуба исходного контура	Addendum of basic rack	Kopfhöhe des Werkzeug-Bezugsprofils	Saillie de la crémaillère de référence de l'outil

Исходный контур по DIN 3972/III; номинальный делительный диаметр 100 мм

Basic rack profile DIN 3972/III, nominal diameter 100 mm

Bezugsprofil DIN 3972/III; Nenndurchmesser 100 mm

Tracé de référence DIN 3972/III; diamètre nominal 100 mm

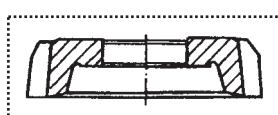


Рис. 17. Долбяки дисковые прямозубые

Disc type cutters, disc gear cutters
Geradverzahnte, Scheibenschneidräder
Couteaux disques à denture droite

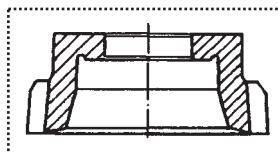


Рис. 18. Долбяки зуборезные прямозубые чашечные

Hub type cutters, hub gear cutters
Geradverzahnte, Glockenschneidräder
Couteaux cloches à denture droite

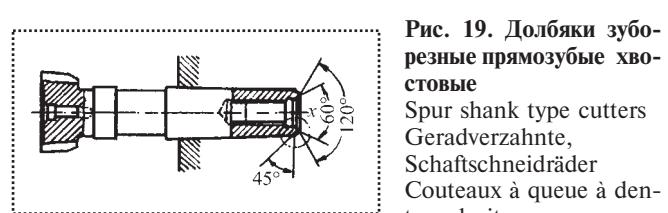


Рис. 19. Долбяки зуборезные прямозубые хвостовые

Spur shank type cutters
Geradverzahnte, Schaftschneidräder
Couteaux à queue à denture droite

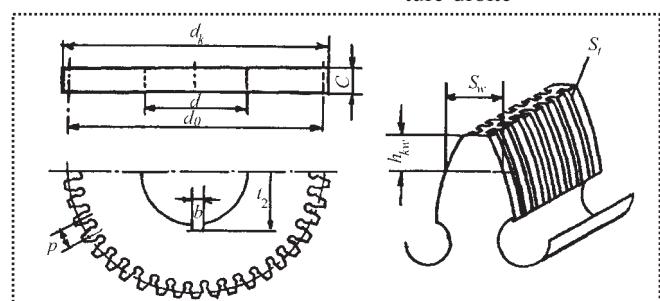


Рис. 20. Шеверы зуборезные дисковые

Shaving tools
Schaberäder
Couteau de shaving



4. Геометрические параметры

Обозначение	Русский	Английский	Немецкий	Французский
z_1	Число зубьев	Number of teeth	Zähnezahl	Nombre de dents
d_0	Делительный диаметр	Pitch diameter	Teilkreisdurchmesser	Diamètre primitif de référence
d_k	Наружный диаметр	Outside diameter	Aussendurch-messer	Diamètre de tête
c	Ширина инструмента	Face width	Werkzeugbreite	Largeur de l'outil
d	Отверстие	Bore	Bohrung	Alésage
t_2	Глубина шпоночного паза	Key depth	Keilnutentiefe	Profondeur de cannelure à clavette
b	Ширина шпоночного паза	Key width	Keilnutenbreite	Largeur de cannelure à clavette
s_w	Толщина зуба по дуге делительной окружности	Circular tooth thickness	Bogenzahndicke	Épaisseur de dent circulaire
s_t	Режущая кромка	Cutting edge	Schneidkante	Arête
h_{kw}	Высота головки зуба	Addendum	Zahnkopfhöhe	Saillie de crémaillère
t_s	Отверстия у ножек зубьев	Drilled hole	Fussausbildung	Trous de dégagement
p	Шаг	Pitch	Teilung	Pas

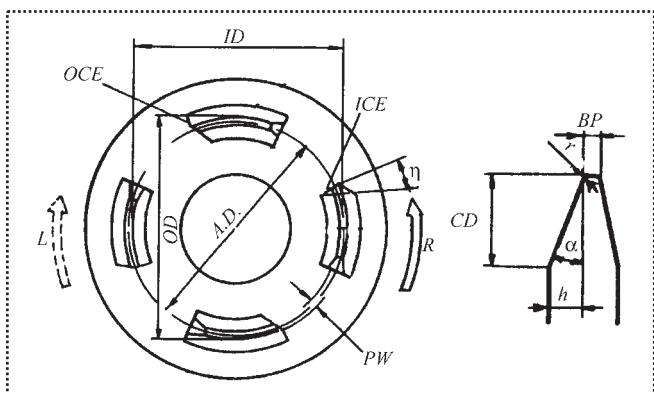
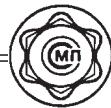


Рис. 21. Головки зуборезные для конических колес с круговым зацеплением
Cutters for circular bevel gears cleason messer köpfen têtes porte-lames gleason

5. Геометрические параметры

Обозначение	Русский	Английский	Немецкий	Французский
AD	Средний диаметр	Average diameter	Nenndurch-messer	Diamètre moyen
OD	Наружный диаметр	Outside diameter	Aussenspitzen-durchmesser	Diamètre extérieur
ID	Внутренний диаметр	Internal diameter	Innenspitzen-durchmesser	Diamètre intérieur
PW	Развод ножей	Point width	Spitzenbreite	Déport total
BP	Ширина вершинной кромки	Blade point width	Messerspitzen-breite	Largeur de lèvre
η	Угол заточки ножей	Re-sharpening angle	Schleifwinkel	Angle d'affûtage
ICE	Внутренняя режущая кромка	Internal cutting edge	Innenschneid-kante	Arête intérieure
OCE	Наружная режущая кромка	Outside cutting edge	Ausenschneid-kante	Arête extérieure
CD	Глубина резания	Cutting depth	Schnitt-Tiefe	Profondeur de coupe
α	Угол профиля ножей	Blade pressure angle	Messereingriffswinkel	Angle de pression de lame
r	Радиус при вершине ножа	Tip radius	Messer-Radius	Rayon de pointe
R	Направление резания правое	Right hand rotation	Drehrichtung rechts	Rotation à droite
L	Направление резания левое	Left hand rotation	Drehrichtung links	Rotation à gauche
h	Расстояние режущей кромки до базового торца	Distance of cutting edge from locating face	Distaz zur Anlagefläche	Distance arêtebout de base



Иллюстрированный словарь-справочник: форма и расположение пятна контакта

Illustrated list of terms: forms and location of tooth contact pattern

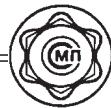
Illustriertes wörterbuch-nachschlagewrk: zahntragbildformen und ihre bezeichnungen

Dictionnaire-référence illustré: formes et location de portee de contact de dent

Основные термины

Положение пятна контакта на зубьях шестерен	Русский	Английский	Немецкий	Французский
	Центральное (правильное, при проверке на контрольно-обкатном станке)	Central toe bearing	Zentrales Zehentragbild	Portée centrale sur avant
	Желательное (правильное, при полной нагрузке)	Desired bearing finder full load	Erwünschtes Tragbild unter voller Belastung	Portée desirable (à la charge complète)
	На носике	Toe bearing	Zehentragbild	Portée sur avant
	На пятке	Heel bearing	Fersentragbild	Portée sur arrière
	Перекрестное	Cross bearing cross contact pattern	Gekreuztes Tragbild	Portée croisée
	На ножке	Low bearing	Tiefes Tragbild	Portée basse
	На головке	High bearing	Hohes Tragbild	Portée haute

Положение пятна контакта на зубьях шестерен	Русский	Английский	Немецкий	Французский
	"Хромой контакт"	Lame bearing, lame contact pattern	Lahmes Tragbild	Portée "boiteuse"
	Широкое	Wide bearing	Breites Tragbild	Portée large
	Узкое	Narrow (pitch line) bearing	Schmales Tragbild (auf der Teilkegellinie)	Portée étroite
	Мостовое профильное	Bridget (profile) bearing	Überbrücktes (Profil-) Tragbild	Portée type pont de profil
	Длинное	Long (full length) bearing	Langes Tragbild (über die ganze Länge)	Portée allongée
	Короткое	Short bearing	Kurzes Tragbild	Portée raccourcie
	Мостовое продольное	Bridget (lengthwise) bearing, lengthwise bridget contact pattern	Überbrücktes Längstragbild	Portée type pont longitudinale
	С переходом внутрь	Bias in	Schrägzahntragen (nach innen)	Portée en pente au dedans
	С переходом наружу	Bias out	Schrägzahntragen (nach außen)	Portée en pente en dehors



ВНИМАНИЕ!

В "Издательство Машиностроение" Вы можете приобрести следующие книги из серии "Библиотека технолога":
(цены указаны с учетом НДС 10 %)

Барзов А. Эмиссионная технологическая диагностика. 2005. –384 с., тв. пер., 60×88 1/16.
Цена 275 руб.

Вереина Л. Обработка на строгальных и долбежных станках: справочник. 2002. –304 с., тв. пер., 60×88 1/16. **Цена 165 руб.**

Киричек А. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. 2004. –296 с., тв. пер., 60×88 1/16. **Цена 253 руб.**

Полетаев В. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей. 2006. –256 с., тв. пер., 60×88 1/16. **Цена 264 руб.**

Степанов Ю. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей. 2004. –204 с., тв. пер., 60×80 1/16. **Цена 242 руб.**

Хейфец М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. 2005. –272 с., тв. пер., 60×88 1/16. **Цена 242 руб.**

1. По безналичному расчету

необходимо направить заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., д. 4

факсу: (499) 269-48-97

e-mail: realiz@mashin.ru

с указанием следующих данных:

- название книги
- количество экземпляров
- название организации
- почтовый и юридический адреса
- ИНН, КПП предприятия, банковские реквизиты
- телефон (с кодом города), факс, E-mail
- ФИО контактного лица
- способ доставки (почтовые бандероли, самовывоз, доставка до транспортной компании).

Тел. отдела продаж, маркетинга и рекламы: (499) 269-66-00, 269-52-98

2. За наличный расчет на складе издательства

Время работы склада:

пн-чт 8.30–16.00, обед 12.00–13.00

пт 8.30–15.00, обед 12.00–13.00

Проезд: см. м. "Сокольники", далее трол. 14, 32, 41, авт. 265, 716, трам. 7
 до остановки "Улица Короленко"

Тел. склада: (499) 268-69-00



**Федеральное агентство по образованию, Администрация Волгоградской области,
Волгоградский государственный технический университет,**

издательство "Машиностроение",

редакция научно-технического и производственного журнала

"Сборка в машиностроении, приборостроении",

Жешовская политехника (Польша),

Полоцкий государственный технический университет (Беларусь)

приглашают Вас принять участие в работе

Международного научно-технического семинара

ПРОГРЕССИВНЫЕ СБОРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

и выездном заседании редакционного совета издательства "Машиностроение"

журнала "Сборка в машиностроении, приборостроении",

которые будут проходить в Волгограде 16–18 июня 2009 г.

Тематика семинара:

- ◆ Технология и организация сборки изделий в машиностроении.
- ◆ Технологичность изделий для сборки.
- ◆ Современные методы (новые технологии) сборки.
- ◆ Использование вычислительной техники при проектировании сборочного оборудования и технологических процессов.
- ◆ Направления перспективного развития сборочных систем, технологий и объектов сборки.
- ◆ Обеспечение качества. Испытания после сборки.

Адрес оргкомитета

400131, Россия, Волгоград, просп. Ленина, 28,

Волгоградский государственный технический университет.

Тел.: (7-8442) 24-84-48, 24-84-36, 909-389-94-32, факс (7-8442) 23-99-41.

E-mail: crysmar@mail.ru, dekanatms@vstu.ru

ООО "Издательство Машиностроение", 107076, Москва, Строгинский пер., 4

Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: E-mail: mashpubl@mashin.ru;

редакции журнала: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор Жиркина С.А. Корректоры Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.

Сдано в набор 22.12.08 г. Подписано в печать 12.03.09 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 7,04. Заказ 129. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.