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

1 2011 (126)

СОДЕРЖАНИЕ

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В. Устранение дефектов при выполнении электромонтажа накруткой . . . 3

Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П. Сборка прецизионных уплотнительных устройств с учетом податливости стыков . . . 8

Корчагин П.В., Казаков Ю.В. Сборка под сварку соединений тонкостенных оболочек с массивными деталями . . . 13

В помощь конструктору, технологу

Коптев А.И., Кузовкин А.В., Титов А.В. Проектирование и изготовление сборных мелкомодульных долбяков с твердосплавной рабочей частью . . . 17

Сборочное оборудование и его элементы

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Обоснование параметров пружины для возвращения в исходное положение механизма схвата после срабатывания . . . 27

Разборка. Ремонт

Казанцев В.Ф., Приходько В.М., Нигметзянов Р.И., Фатюхин Д.С., Сундуков С.К. Влияние ультразвуковых радиальных колебаний на процесс разборки гладких соединений . . . 30

Экономика и организация сборочного производства

Русяева Т.О. Программа оптимизации материальных потоков на производственных участках механосборочного производства . . . 34

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Гладуняк В.В. Исследование процессов аргонодуговой сварки сталей, покрытых алюминием, с медной присадочной проволокой . . . 39

Информация

Указатель статей, опубликованных в 2010 году . . . 44

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
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@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
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
Ю.Ф. НАЗАРОВ
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
И.К. ПИЧУГИН
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ
НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ
САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ
ТУЛА
В.В. ПРЕЙС
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ПОЛОЦК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Л.Д. ПАРШЕНКОВА, И.М. ГЛИКМАН

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

© Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2011

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

1 2011 (126)

CONTENTS

Quality assurance. Testing. Monitoring

Kovalev V.G., Kovalev S.V. Elimination of defects in the performance of wiring wrap . . . 3

Albagachiev A.Yu., Kuzhnir A.P. Assembling of precision sealing devices, taking into account rigidity joints . . . 8

Korchagin P.V., Kazakov Yu.V. Assemblage under welding of connections of thin-walled covers with massive details . . . 13

Industrial and design engineer's aid

Koptev A.I., Kuzovkin A.V., Titov A.V. Design and the production of composite small-module rams with the hard-alloy working part . . . 17

Production tools and machinery for assembly

Zhitnikov Yu.Z., Zhitnikov B.Yu. Substantiation of parameters of the spring for mechanism grab returning after operation in the starting position . . . 27

The dismantling. Repair

Kazancev V.F., Prikhod'ko V.M., Nigmetzyanov R.I., Fatyukhin D.S., Sundukov S.K. Influence of radial ultrasound vibration for process of disassembling of join machine parts . . . 30

Economy and the organization of assembly

Rusyaeva T.O. Optimization programme of the material flow in mechanical assembly production . . . 34

Assembly welding works. Solder

Kovtunov A.I., Chermaschentseva T.V., Gladunjak V.V. The research of argon-arc welding of steels covered with aluminum by copper filler wire . . . 39

Information

Index of articles published in 2010 . . . 44

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 Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **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
VASIL'EV A.S. (Chief editor)
VARTANOV M.V.
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZININA I.N.
IVANOV YU.L.
KOZYREV YU.G.
KUMENKO A.I.
MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KHOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

BELGOROD
PELIPENKO N.A.
BRIANSK
GORLENKO O.A.
VLADIVOSTOK
KULSHIN Yu.N.
SUPONIA A.A.
KORNIENKO 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.
KOVROV
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.
NIZHNY NOVGOROD
GOLUBEV S.V.
OMSK
KOSTIUKOV V.N.
OREL
STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.
ORENBURG
POLYAKOV A.N.
SERDUK A.I.
FOT A.P.
RYBINSK
BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEMENOV A.N.
SAMARA
EVDOKIMOV M.A.
VASHUKOV Yu.A.
KULAKOV G.A.
NIKOLAEV V.A.
ST.-PETERSBURG
KUZMIN V.F.
SHALOBAEV E.V.
TULA
PREYS V.V.
TOLIATI
KHAZOV B.F.
RYZHKOV A.I.
KHABAROVSK
LASHKO V.A.

Ukraine
KIEV
ZENKIN A.S.
MATVIENKO V.A.
DONETSK
MIKHAILOV A.N.
SEVASTOPOL
PERVUKHINA E.L.

Belarus
MINSK
BASINJUK V.L.
GOMEL
STARZHINSKI V.E.
POLOTSK
KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:
PARSHENKOVA L.D., GLIKMAN I.M.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2011

УДК 621.396.6.002.72

В.Г. Ковалёв, *д-р техн. наук, проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана),*
С.В. Ковалёв, *канд. техн. наук, проф. (ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова)*
E-mail: ksv.ipu@bk.ru

Устранение дефектов при выполнении электромонтажа накруткой

Рассмотрены способы исключения дефектов при электромонтаже способом накрутки по спирали при автоматической накрутке, при настройке механизма осевой подачи накручивающей головки, при подаче вручную. Предложены рекомендации для исключения дефектов при регулировании осевого перемещения, уменьшении скорости перемещения накручивающей головки, рекомендации по предупреждению брака при накрутке, по обеспечению высокого качества электромонтажных работ с применением различных способов накрутки.

This article discusses ways of removing defects elektromontage way to rack up the spiral, with automatic cheating, when configuring a axial feed churnings heads, manually. Proposed recommendations to eliminate defects in regulating the axial displacement, reduce speed churnings heads, recommendations to prevent a marriage in cheating, high-quality production of installation works in a variety of ways to cheat.

Ключевые слова: дефекты накрутки, способы устранения дефектов накрутки, обеспечение качества при производстве работ.

Key words: animals bugs, fixes for defects cheat cheating, ensuring the quality of the work.

Способ электромонтажа накруткой, разработанный в 40...50-х гг. прошлого столетия, применяется для соединения конструктивных модулей электронной аппаратуры, блоков, панелей и рам. Такой монтаж исключает применение припоев и флюсов, нагрев соединяемых элементов, на порядок повышает надежность соединений по сравнению с паяными при механических нагрузках и изменении климатических условий, ускоряет процесс сборки аппаратуры.

На рис. 1 показана конструктивная схема рабочей головки накручивающего устройства. В процессе накрутки конец подготовленного проводника вводят в боковое отверстие накручивающего валика, подводят валик к выводу и вводят вывод в валик. Включают электродвигатель, и накручивающий валик при вращении укладывает расчетное число витков на вывод. Затем процесс повторяют для других выводов.

Контактное соединение накруткой – это соединение неизолированного провода (или участка изолированного провода без изоляции) с выводом, имеющим острые кромки, на который провод плотно укладывается с определенным усилием натяжения. Электрическое соединение возникает в зонах контакта провода с острыми кромками вывода, благодаря этому проводник врезается в вывод.

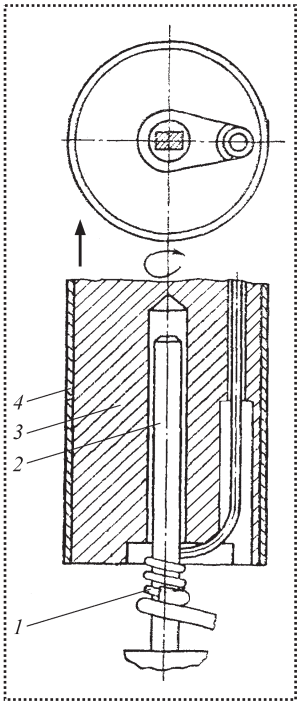


Рис. 1. Схема процесса и инструмента для образования соединения накруткой:
1 – накручиваемый проводник; *2* – вывод; *3* – накручивающий валик; *4* – втулка

Натяжение провода при накрутке позволяет разрушить пленку оксидов на контактирующих металлах, способствует вдавливанию провода в острые кромки вывода и образованию газонепроницаемого соединения. Возможно также соединение накруткой

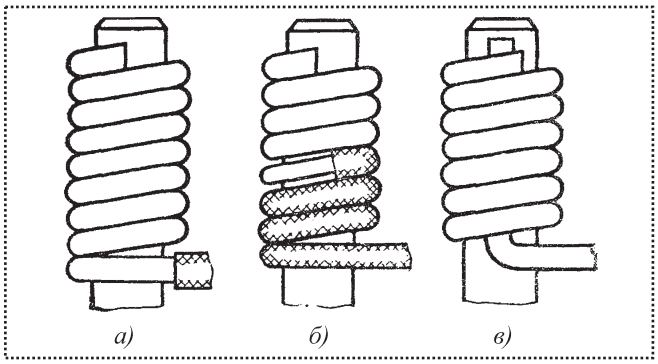


Рис. 2. Виды соединений накруткой:
а – немодифицированное; *б* – модифицированное; *в* – бандажное

провода с тонкой изоляцией, при этом изоляция прорезается острыми кромками вывода. Концентрация напряжения в зонах контакта и среднее давление обусловливают взаимную диффузию металлов.

Соединение накруткой должно удовлетворять следующим требованиям:

– минимальные номинальное и переходное сопротивления;

– газонепроницаемость для исключения коррозии;

– сумма площадей зон контакта должна быть больше поперечного сечения провода;

– электрическая стабильность во времени при механических и климатических воздействиях.

При монтаже накруткой применяют три вида соединений (рис. 2): обычное (немодифицированное), модифицированное и бандажное.

Немодифицированное соединение получают путем навивки на вывод неизолированного участка одножильного провода. *Модифицированное* отличается наличием 1...2 витков изолированного провода, что снижает вероятность поломки первого витка при механических воздействиях (вибрации, смещении вывода) за счет уменьшения концентрации напряжения в точках контакта. Но габариты такого соединения увеличиваются. Поэтому, когда шаг выводов для накрутки меньше 2,5 мм, применение модифицированного соединения затруднительно. *Бандажное соединение* состоит из нескольких витков бандажного провода, который при накручивании захватывает и обжимает вывод.

Наибольшее применение нашло модифицированное соединение, особенно в аппаратуре, подвергающейся механическим воздействиям. При малом шаге между выводами и больших сечениях монтажного провода применяют обычное соединение накруткой. Бандажное соединение рекомендуется для образования контактных соединений с выводами навесных элементов, шинами питания и при использовании для монтажа многожильных проводов, не пригодных к накрутке.

Выполнение требований к соединению обеспечивается выбором соответствующих материалов вывода и провода, конструкцией соединения и технологическими условиями его получения. Материал вывода должен обладать достаточной прочностью для образования поверхностей контакта в результате деформирования провода на его острых кромках. Необходима упругость и прочность вывода для сопротивления скручиванию его в процессе накрутки провода. От состояния поверхностного слоя материала соединяемых элементов зависят электрические параметры соединения.

Для изготовления выводов применяют латунь, плакированную сталь, никелево-серебряные сплавы, бериллиевую и фосфористую бронзы. Последние имеют наилучшие физико-механические свойства: высокий модуль упругости, низкое остаточное напряжение, коэффициент линейного расширения, близкий к этому показателю для меди.

Для накрутки используют медный одножильный провод (провод большего диаметра требует увеличения усилия натяжения и использования более прочных выводов). Относительное удлинение провода не менее 15 %, предел прочности на разрыв не менее 96 МПа. Рабочий участок освобождается от изоляции и облуживается. Для выводов, кроме меди, используют латунь, никелевое железо и никелевую проволоку.

Требование равенства суммы площадей кажущихся зон контакта соединения накруткой и поперечного сечения провода обеспечивается при наличии для обычной аппаратуры 12, а для специальной – 20 контактных поверхностей. Следовательно, соединение должно быть многовитковым. Другие особенности процесса приведены в работе [2].

Вывод должен иметь минимум две острые кромки (рис. 3).

Для всех видов соединений накруткой обязательно плотное прилегание витков провода друг к другу. Не допускается выступание конца последнего витка за пределы соединения более чем на диаметр жилы провода, в противном случае увеличивается вероятность случайной раскрутки последних витков и возникает опасность повреждения изоляции проводов, прокладываемых между выводами в процессе монтажа накруткой. В соединениях не допускается накрутка провода внахлестку, с просветом более 0,2 диаметра провода или по спирали с просветом (рис. 4).

Рассмотрим условия возникновения этих дефектов и возможности их предупреждения.

Выступающий конец витка. Можно предположить, что причиной этой погрешности могут быть пружинение проводника, погрешности осевого шага в процессе накрутки последнего витка, увеличенный диаметр каплеобразного углубления у торца накручивающего валика. Как известно, пружинение возникает при снятии деформирующего напряжения – разгрузке. Величина пружинения зависит от угла гибки, механических характеристик материала проводника и вывода, относительной величины радиуса гибки, состояния материала, длины проводника от ребра вывода до его концевой части. Принимая во внимание расчетную величину угла пружинения [1]:

$$\Delta\alpha = \left[3S_p + \Pi\frac{2d}{2r+d}\right]\left(\frac{r}{d}+1\right)\frac{\alpha}{E},$$

создающую выступание его конца, расположенного между последними ребрами контакта вывода и проводника (в формуле $\Delta\alpha$ – угол пружинения, S_p – экстраполированный предел текучести материала проводника, П – модуль упрочнения материала проводника, α – угол гибки, r – радиус гибки, d – диаметр проводника, E – модуль упругости первого рода), можно установить, что угол пружинения составляет незначительную величину (~1°). С учетом длины пружинящей части проводника, равной примерно ширине стороны вывода (до трех диаметров проводника, максимальная величина которого не более 3,6 мм), выступ конца проводника

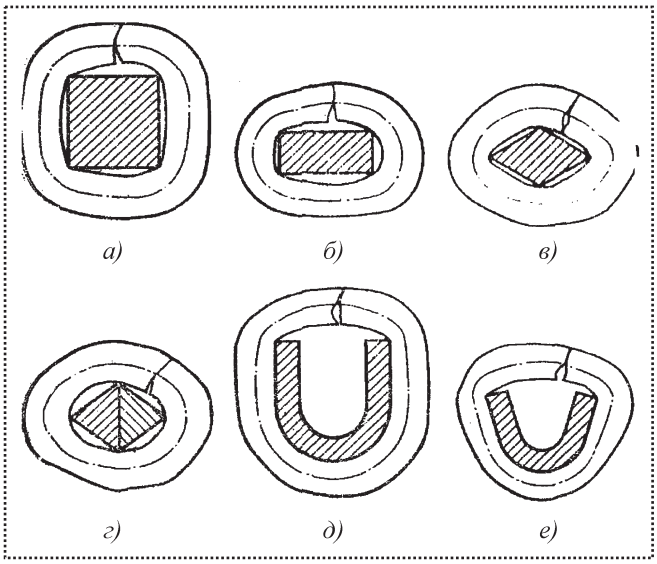


Рис. 3. Формы поперечного сечения выводов:
а – квадратная; *б* – прямоугольная; *в* – ромбовидная; *г* – двойная треугольная; *д* – U-образная; *е* – V-образная

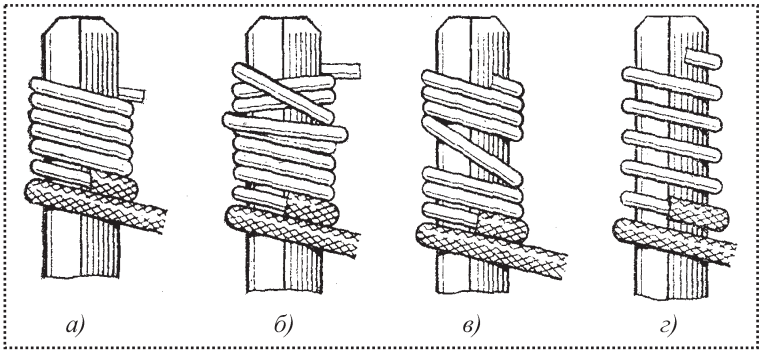


Рис. 4. Дефекты соединений накруткой:
а – выступающий конец последнего витка; *б* – витки внахлестку; *в* – витки с просветом; *г* – витки по спирали

$$\Delta d = 3d\mathrm{tg}\Delta\alpha = 3d\Delta\alpha .$$

Это произведение не превышает $0{,}1d$; по техническим требованиям допустимая величина выступа равна d. Таким образом, причиной появления выступающего конца проводника не является пружинение.

Анализируем вторую причину – режимы накрутки, т.е. осевое усилие и осевой шаг подачи провода. Равнодействующая усилия накрутки всегда направлена по касательной к радиусу вращения накручивающего валика и при формировании последнего витка практически равна нулю, поэтому здесь выступание может возникнуть только вследствие пружинения оставшейся части проводника, особенности которого мы уже рассмотрели, т.е. оно не может вызвать такой брак, так как проводник всегда находится в пределах фасонного каплеобразного углубления на торце накручивающего валика. Осевой шаг подачи накручивающей головки при этом обеспечивает равномерную укладку провода с шагом, равным его наибольшему диаметру. При этом должно быть создано осевое усилие, меньшее или равное вертикальной составляющей усилия накрутки, как в начале процесса, так и в конце, когда осевое усилие равно нулю.

При этих условиях процесс проходит без брака. Однако при увеличенном шаге осевой подачи накручивающей головки в процессе накрутки последней четверти последнего витка эта его часть выходит из контакта с торцом фасонного углубления накручивающей головки за ее пределы, а проводник не приближается при этом к выводу. В результате происходит выступание проводника за пределы периметра накрутки на величину, превышающую его диаметр.

Для предупреждения этого необходимо в последние моменты процесса накрутки строго соблюдать шаг осевой подачи. Очевидно, что такой брак будет возникать при осевой подаче накручивающей головки вручную, при автоматической подаче это исключено.

Каплеобразное углубление у торца накручивающего валика изготовляют обычно глубиной не более одного диаметра проводника с изоляцией, что обеспечивает свободное расположение проводника между осью бокового отверстия и ребром вывода. В последний этап накрутки при радиусе контура этого углубления, превышающем сумму диаметра проводника и радиуса описанной окружности вывода, после выхода проводника из бокового отверстия его свободный торец будет касаться боковой стенки радиального углубления. В результате получится выступание проводника на величину, превышающую его диаметр.

На основе этих соображений можно рекомендовать способ предупреждения этого вида брака: выполнение радиуса торцевого радиального углубления у центра вращения накручивающего валика с радиусом

$$r_{\text{т}} = r_{\text{оп}} + d_{\text{из}},$$

где $r_{\text{т}}$ – радиус торцового углубления у накручивающего валика;

$r_{\text{оп}}$ – радиус описанной окружности вывода;

$d_{\text{из}}$ – наибольший диаметр проводника по изоляции при модифицированном способе накрутки, при немодифицированной накрутке – диаметр проводника по металлу.

Витки внахлестку. Такой брак возможен как при автоматической, так и при подаче вручную накручивающей головки.

При автоматической подаче этот брак возникает из-за неправильного подбора осевого усилия прижима витка к ранее уложенному и несогласования осевой подачи накручивающего валика с наибольшим диаметром проводника. Для устранения следует уменьшить осевое усилие прижима накручивающей головки, а шаг осевой подачи валика принять равным наибольшему диаметру проводника.

При осевой подаче валика вручную этот вид брака возникает из-за неравномерной и уменьшенной осевой подачи накручивающего валика. Установим расчетную величину осевого усилия прижатия витков друг к другу в процессе накрутки, которую должен обеспечивать

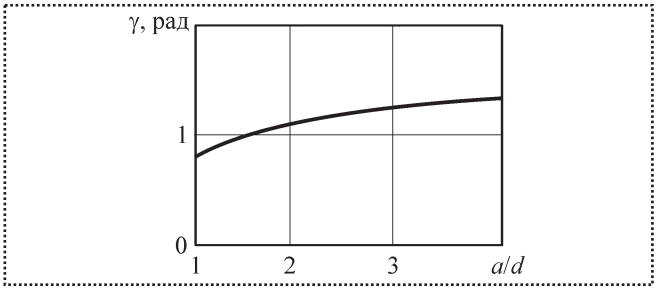


Рис. 5. Зависимость угла γ укладки витков на выводе от относительной величины стороны квадратного вывода *a/d*

(не превышая) механизм накрутки или, иными словами, усилие сжатия пружины. В процессе накрутки вдоль оси проводника действует сила натяжения P, вертикальная составляющая которой $P\sin\gamma$, где γ – наибольший угол контакта проводника между плоскостью, перпендикулярной оси вывода, и осью накрученного на вывод проводника. Наибольшей величины этот угол достигает перед началом изгиба проводника у острого ребра вывода (рис. 5):

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{d}{a+d}\right).$$

Обязательное условие: вертикальная составляющая усилия прижатия $P_{пр}$ проводника, создаваемого накручивающей головкой, не может быть больше вертикальной составляющей усилия накрутки: $P_{пр} \le P\sin\gamma$. В противном случае, несмотря на правильный шаг осевой подачи, произойдет "нахлест" витков друг на друга. При меньшем угле контакта, возникающем на начальном, наладочном этапе процесса накрутки, также возможен этот брак, так как в этом случае также возможно превышение допустимой величины осевого усилия при наладке процесса вручную.

Витки с просветом возникают обычно при неравномерном управлении шагом осевой подачи накручивающей головки вручную. Исключение этого дефекта возможно только при равномерной подаче с расчетным шагом накрутки.

Витки по спирали. Этот дефект возникает при увеличенной осевой подаче накручивающей головки. При автоматической накрутке – это результат неправильной настройки механизма осевой подачи, при подаче вручную – увеличенное осевое перемещение накручивающей головки. В первом случае для исключения дефекта необходимо правильно отрегулировать шаг осевого перемещения накручивающей головки, во втором случае следует уменьшить скорость ее осевого перемещения.

Строгое соблюдение данных рекомендаций по предупреждению брака при накрутке обеспечит высокое качество в производстве электромонтажных работ способом накрутки.

Библиографический список

1. **Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В.** Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2010. 224 с.

2. **Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В.** Основные расчетные параметры электромонтажа методом накрутки // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8. С. 14–18.

3. **Технология** ЭВА: оборудование и автоматизация / В.Г. Алексеев, В.Н. Гриднев, Ю.И. Нестеров и др. М.: Высшая школа, 1984. 392 с.

УДК 621.01

А.Ю. Албагачиев, *д-р техн. наук,* **А.П. Кушнир,** *канд. техн. наук*
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
E-mail: albagachiev@yandex.ru, is5mgupi@yandex.ru

Сборка прецизионных уплотнительных устройств с учетом податливости стыков

Рассмотрены вопросы контактной жесткости шероховатых поверхностей в процессе сборки с учетом технологических погрешностей деталей. Предложены инженерные зависимости для распределения, близкого к нормальному закону, которые более адекватно описывают граничные условия сборки. Получены соотношения для вероятностной оценки деформаций поверхностей.

We consider a problem of rough surfaces contact taking into account technological errors. New engineering dependences describe real processes of assembling more adequately. Parities for a likelihood estimation of the area of contact and deformations of surfaces are received.

Ключевые слова: сборка, уплотнительное устройство, шероховатость, жесткость стыка, вероятность распределения, методика расчета.

Key words: assembling, sealing devices, roughness, joint rigidity, probability distribution, design procedure.

Качество машин и механизмов зависит не только от их конструкции, используемых материалов, технологии изготовления, но также во многом определяется параметрами процесса сборки. Это особенно важно для прецизионных сборочных узлов, к которым относятся, например, высокоскоростные лабиринтно-дисковые уплотнительные устройства.

На рис. 1 показано лабиринтно-дисковое уплотнение, разработанное в МГУПИ и защищенное патентами России, США, Германии и Франции [1–3]. Уплотнение предназначено для высокоэффективной защиты опор качения шпиндельных узлов металлорежущих станков от попадания в них смазочно-охлаждающих составов, абразива и шлама. Оно состоит из наружного и внутреннего стаканов *1, 2*, монтируемых соответственно в корпус и на шпиндель металлорежущего станка, а также дисков *3, 4* и проставочных колец *5*, *6*.

Для обеспечения высокой эффективности герметизации зазоры между неподвижными и вращающимися дисками *3*, *4* должны быть минимальными. Так как уплотнения предназначены для шпиндельных узлов металлорежущих станков, то дополнительным условием является обеспечение минимального тепловыделения в узле, т.е. отсутствие непосредственного контакта между вращающимися и неподвижными деталями. Частично выполнение данного условия заложено в самой конструкции, которая выполнена "плавающей" с возможностью самоустановки пакета невращающихся дисков в осевом направлении. Вместе с тем в уплотнительном устройстве присутствует большое количество стыков, жесткость которых существенно влияет на конечные осевые зазоры, получаемые в процессе сборки [4].

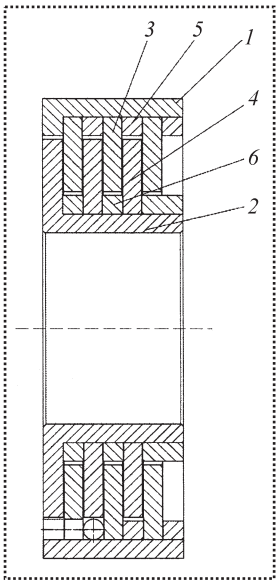


Рис. 1. Лабиринтно-дисковое уплотнительное устройство

Решение данной проблемы имеет большое практическое значение не только для уплотнительных устройств, поскольку нет ни одного узла машин, в котором не было бы контактного взаимодействия одной или нескольких поверхностей. Одной из актуальных проблем станкостроения является, на-

пример, задача повышения жесткости несущей системы. Как показано в монографии [5], жесткость несущей системы, а следовательно, точность обработки, виброустойчивость и долговечность всего станка в целом определяются не только конструкцией, но в первую очередь условиями контакта – шероховатостью и технологическими погрешностями формы поверхностей сопрягаемых деталей.

Существенную роль в процессах взаимодействия поверхностей имеют фактические площади контакта, которые могут отличаться от номинальных на несколько порядков [6]. Решение данной задачи существенно усложняется при учете таких факторов, как, например, сочетание упругих и пластических деформаций, распределение материала по высоте шероховатого слоя и т.п. Этим объясняется тот факт, что наиболее часто исследователи учитывают взаимодействие только наиболее высоких выступов, а не рассматривают весь спектр их распределения. Такой подход существенно ограничивает область исследуемых поверхностей.

Так как данная задача не может быть решена в общем виде, сделаем ряд допущений, которые позволят упростить ее. Введем эквивалентную модель взаимодействия шероховатой и гладкой поверхностей. Представим схему контакта (рис. 2) в виде двух поверхностей, одна из которых реальная, обладающая некоторой шероховатостью, а другая – идеальная (гладкая и абсолютно жесткая). Предположим, что отклонение профиля шероховатой поверхности подчиняется закону распределения, близкому к нормальному. Дополнительно примем, что для шероховатого слоя выполняется соотношение (рис. 2)

$$|y_{\text{в}}| = |y_{\text{н}}| = y_m, \qquad (1)$$

где $y_{\text{в}}$, $y_{\text{н}}$ – высота наибольших соответственно выступов и впадин профиля относительно базовой линии $0X$;

y_m – максимальное отклонение профиля относительно $0X$.

В работах [7, 8] показано, что при выполнении условия (1) использование нормального закона распределения при малых деформациях

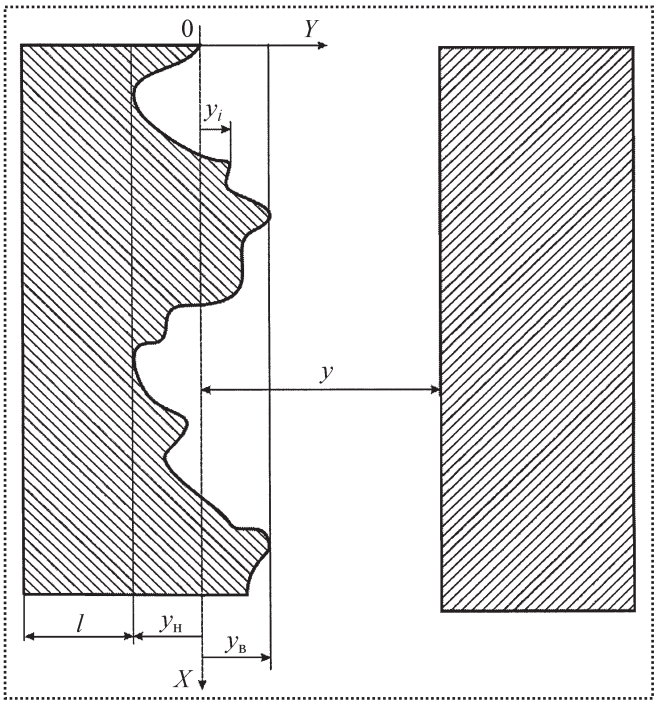


Рис. 2. Схема расположения поверхностей

шероховатых слоев приводит к очень существенной ошибке (вплоть до отрицательных значений). Это объясняется тем, что согласно нормальному закону распределения высоты наибольших выступов и впадин профиля теоретически могут быть сколь угодно большими. На практике, в особенности после финишной обработки, плотность вероятности в области больших отклонений профиля резко уменьшается. В этом случае рекомендуется оценивать деформации и площади фактического контакта по закону распределения Албагачиева–Кушнира, близкому к нормальному, который обеспечивает хорошую сходимость с опытными данными [6, 7].

Для проведения остаточных расчетов могут быть использованы более простые инженерные зависимости. Достаточно близкой к упомянутому закону является предлагаемая линейная модель распределения плотности вероятности.

Следует отметить также, что на жесткость стыков влияют не только материалы и шероховатости поверхностей, но и погрешности их формы [5]. Учтем этот фактор в предлагаемой модели. Допустим, что шероховатая по-

верхность имеет отклонение от плоскостности. В этом случае сама базовая линия будет иметь дополнительное смещение $\pm\Delta/2$, а максимальное отклонение профиля в направлении выступов

$$y_{\max} = y_m + \Delta/2, \qquad (2)$$

где Δ – отклонение шероховатой поверхности от плоскостности.

Граничными условиями для предлагаемой линейной модели распределения плотности вероятности будут следующие соотношения:

$$\psi(y_i = 0) = \psi_{\max};$$

$$\psi(|y_i| > y_{\max}) = 0.$$

Условие нормирования вероятности

$$P(|y_i| <= y_{\max}) 2\Phi(y_i) = 1,$$

которому соответствуют

$$\begin{aligned} \psi(y_i) &= 1/y_{\max} - y_i / y_{\max}^2; \\ \Phi(y_i) &= y_i / y_{\max} - y_i^2 / y_{\max}^2, \end{aligned} \qquad (3)$$

где $\psi(y_i)$ – плотность распределения вероятности текущего отклонения профиля y_i;

$\Phi(y_i)$ – интеграл вероятности.

При смещении поверхностей друг относительно друга на величину упругого смещения вероятность контакта участков поверхности рассчитывают с учетом [9] и (3):

$$\begin{aligned} P_к &= P(y_{\max} - \delta < y < y_{\max}) = \\ &= \int_{y_{\max-\delta}}^{y_{\max}} \psi(y) dy = 0{,}5 - \Phi(y_{\max} - \delta) = 0{,}5(\delta / y_{\max})^2, \end{aligned} \qquad (4)$$

где δ – величина упругого смещения выступов шероховатой поверхности.

Используя выражение для вероятности контакта шероховатого слоя, полученное в работе [7]

$$P_к = 2\frac{p_н}{\sigma_т}, \qquad (5)$$

а также определения [4] с учетом допущения (1)

$$Rz = 0{,}2\left(\sum_{i=1}^{5}|y_{вi}| + \sum_{i=1}^{5}|y_{нi}|\right) = 2y_m, \qquad (6)$$

получим из (4)–(6) простую инженерную зависимость для оценки величины смещения поверхности с учетом ее геометрических и физико-механических характеристик:

$$\delta = 2(y_m + \Delta/2)\sqrt{\frac{p_н}{\sigma_т}} = (Rz + \Delta)\sqrt{\frac{p_н}{\sigma_т}}, \qquad (7)$$

где $p_н = F/S_н$ – номинальное давление;

F – результирующая сила, приложенная к контактирующей паре;

$S_н$ – номинальная площадь контакта;

Rz – высота неровностей по 10 точкам;

$\sigma_т$ – напряжение текучести материала.

Для случая контакта двух шероховатых поверхностей будет иметь место их суммарное смещение. Окончательно, учитывая упругие деформации в поверхностных слоях (7) и основных частях сопрягаемых деталей (по закону Гука), получим искомое соотношение

$$\begin{aligned} \delta &= (Rz + \Delta_1)\sqrt{\frac{p_н}{\sigma_{т1}}} + \\ &+ (Rz + \Delta_2)\sqrt{\frac{p_н}{\sigma_{т2}}} + p_н l_1 / E_1 + p_н l_2 / E_2, \end{aligned} \qquad (8)$$

где $E_{1,2}$ – модуль упругости материалов первой и второй деталей;

$l_{1,2}$ – толщина первой и второй детали.

Оценим полученные результаты. В качестве примера используем данные расчета Н.Б. Демкина [6]: материал первой детали – сталь (марка не указана), высота наибольших выступов $y_{m1} = 6$ мкм; материал второй детали – латунь, высота наибольших выступов $y_{m2} = 0{,}5$ мкм, номинальное давление $p_н = 1$ МПа.

В результате расчета упругих деформаций в поверхностных слоях деталей по методике Н.Б. Демкина получено $\delta = 0{,}83$ мкм.

Расчет по зависимости (8) проведен для двух вариантов.

В первом случае податливость поверхностей контакта деталей из Ст3 ($\sigma_{т1} = 220$ МПа)

Таблица 1

Смещения поверхностей, мкм, в зависимости от номинальных давлений в зоне контакта

$p_н$, даН/см^2	0,1	0,5	1	5	10
По (9)	0,05...0,06	0,11...0,14	0,15...0,2	0,34...0,45	0,47...0,63
По (8), $\Delta = 0$	0,04	0,08	0,12	0,26	0,36
По (8), $\Delta = 1$ мкм	0,05	0,11	0,15	0,34	0,48
По (8), $\Delta = 2$ мкм	0,06	0,13	0,19	0,42	0,49

и латуни ($\sigma_{т2}$ = 330 МПа) составила δ = = 0,86 мкм.

Во втором случае рассматривали детали из стали 60 ($\sigma_{т1}$ = 370 МПа) и латуни ($\sigma_{т2}$ = = 330 МПа). В результате получено δ = = 0,7 мкм.

Таким образом, расчетные значения податливости по методике Н.Б. Демкина и предлагаемым инженерным зависимостям оказались очень близки. Вместе с тем следует отметить очень высокую трудоемкость расчетов по методике Н.Б. Демкина и не совсем адекватные результаты расчета реальных площадей контакта, что показано в работе [7].

Полученные зависимости (7), (8) также хорошо сходятся с опытными данными [5], согласно которым смещение поверхностей контакта

$$\delta = c\sqrt{p_н}, \qquad (9)$$

где δ – суммарное сближение поверхностей, мкм;

c – коэффициент, зависящий от способа обработки, мкм·см·(даН)$^{-0,5}$;

$p_н$ – номинальное давление, даН/см^2.

Для шлифовальных чугунных поверхностей (*Ra* 0,32...1,25 мкм), по данным [5], коэффициент способа обработки c = 0,15...0,2 мкм·см·(даН)$^{-0,5}$. В качестве расчетных параметров примем среднее значение шероховатости шлифовальных поверхностей *Ra* 0,63 мкм. По ГОСТ 2789–73 параметру *Ra* = 0,63 мкм соответствует *Rz* = 3,2 мкм. Материал деталей – СЧ28, для которого $\sigma_т$ = = 3100 даН/см^2. Результаты расчетов по формулам (8) и (9) сведены в табл. 1.

Анализ данных показывает, что для шероховатых поверхностей с идеально точной геометрией (Δ = 0) теоретические значения податливости получаются несколько заниженными по сравнению с опытными данными. Это можно объяснить тем, что в формуле (8) члены, зависящие от толщины деталей, были приняты равными нулю. Кроме того, если предположить, что отклонения от плоскостности реальных поверхностей Δ = 1...2 мкм (табл. 2), то совпадение опытных данных с предлагаемой теоретической зависимостью получается вполне удовлетворительным.

Результаты расчета по теоретической зависимости (8) при дальнейшем увеличении погрешности формы деталей показали следующее (см. табл. 2). Податливость контакта при изменении неплоскостности одной из поверхностей от 1 до 10...15 мкм увеличивается в соответствии с предлагаемой зависимостью (8) в δ_Δ/δ = 2,07...2,67 раза, а при изменении от 2 до 10...15 мкм – в δ_Δ/δ = 1,77...2,25 раза, где δ_Δ – величина смещения при наличии отклонения от плоскостности.

Эти данные хорошо согласуются с результатами эксперимента [5], согласно которым отклонение от плоскостности одной из деталей до Δ = 10...15 мкм увеличивало податливость поверхностей контакта в 2...2,5 раза.

Выводы

Предложена зависимость для нового закона распределения плотности вероятности, близ-

Таблица 2

Относительное изменение податливости контакта при увеличении отклонения от плоскостности одной из поверхностей по формуле (8)

Δ, мкм	$\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ мкм	$\Delta_1 = 1$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм	$\Delta_1 = 1$ мкм, $\Delta_2 = 15$ мкм
δ_Δ/δ	1,00	2,07	2,67
Δ, мкм	$\Delta_1 = \Delta_2 = 2$ мкм	$\Delta_1 = 2$ мкм, $\Delta_2 = 10$ мкм	$\Delta_1 = 2$ мкм, $\Delta_2 = 15$ мкм
δ_Δ/δ	1,00	1,77	2,25

кого к нормальному, и выражение для интеграла вероятности, которые более адекватно описывают рассматриваемые граничные условия сборки.

Получены соотношения для вероятностной оценки площади контакта и деформации шероховатых поверхностей с учетом физико-механических характеристик материала и погрешностей формы.

Предложенные простые зависимости обеспечивают хорошее совпадение с опытными данными и могут быть использованы для оценки изменения зазоров в узле в зависимости от усилий, создаваемых в процессе сборки.

Библиографический список

1. **Lizogub V.A., Kushnir A.P., Figatner A.M., Bondar S.E.,** 1981, "Labyrinth Seal", United States Patent N 4290610, Int.C1. F16j15/44.

2. **Lizogub V.A., Kushnir A.P., Figatner A.M., Bondar S.E.,** 1982, "Labyrinthdichtung", Patent of Germany N 3012916, Int.C1. F16j15/44.

3. **Lizogub V.A., Kushnir A.P., Figatner A.M., Bondar S.E.,** 1984, "Joint labyrinthe", Patent of France N 2482694, Int.C1. F16j15/44.

4. **Справочник** технолога-машиностроителя: В 2 т: Т. 2. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др. Изд. 5-е, испр., 2003. 912 с.

5. **Детали** и механизмы металлорежущих станков. Т. 1 / Д.Н. Решетов и др. – М.: Машиностроение, 1972. 663 с.

6. **Трение**, износ и смазка / А.В. Чичинадзе и др. – М.: Машиностроение, 2003. 575 с.

7. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Теоретическое исследование контакта реальных поверхностей // Вестник МГУПИ, вып. 27. – М.: МГУПИ, 2006. С. 18–29.

8. **Албагачиев А.Ю., Кушнир А.П.** Оценка фактической площади контакта в зависимости от температуры // Фундаментальные проблемы и современные технологии в машиностроении: Сб. трудов Международной научно-практической конференции (Приложение). – М.: Машиностроение, 2010. С. 79–83.

9. **Корн Г.А., Корн Т.М.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. – СПб.: Лань, 2003. 832 с.

10. **Беляев Н.М.** Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. 608 с.

УДК 621.717:621.88.084

П.В. Корчагин, *канд. техн. наук,* **Ю.В. Казаков,** *д-р техн. наук*
(Тольяттинский государственный университет)
E-mail: Kazakov_Ju.V.@tltsu.ru gazsvr@mail.ru

Сборка под сварку соединений тонкостенных оболочек с массивными деталями

Определены условия сборки с натягом тонкостенных оболочек с массивными деталями под сварку плавлением, обеспечивающие устойчивость тонкой кромки в процессе сварки.

Conditions of assembly with a tightness of thin-walled environments with massive parts under welding by fusion providing stability of a thin edge during welding are determined.

Ключевые слова: тонкостенные оболочки, детали разной толщины, сборка с натягом, устойчивость кромки.

Key words: thin-walled environments, details of different thickness, assembly with a tightness, stability of an edge.

Одно из условий качественного формирования сварных соединений тонкостенных оболочек с массивными деталями – обеспечение устойчивости свариваемой кромки тонкостенной оболочки в процессе сварки, которая достигается созданием напряжений в сопрягаемой части тонкостенной оболочки в процессе сборки соединения [1]. На практике применяются два варианта взаимного расположения тонкостенной оболочки и массивной детали при нахлесточном их соединении: тонкостенную оболочку надевают на массивную деталь (рис. 1, *а*) или вставляют ее внутрь массивной детали (рис. 1, *б*).

Для обоих этих случаев специфика требований к подготовке деталей к сборке не рассмотрена, величина сборочного натяга, обеспечивающего устойчивость кромки тонкостенной детали в процессе сварки, не определена. Случайный подбор условий сборки снижает качество сварных соединений, увеличивая вероятность прожогов тонкой кромки. Поэтому цель настоящей работы – повышение качества соединений тонкостенных оболочек с массивными деталями путем определения условий сборки, обеспечивающих устойчивость тонкой кромки в процессе сварки.

В случае когда тонкостенная оболочка надевается на массивную деталь (рис. 1, *а*), в посадочной части тонкостенной оболочки необходимо создать максимальные упругие напряжения растяжения, которые в процессе сварки будут способствовать уменьшению сжимающих сварочных напряжений, возникающих в результате теплового воздействия сварочной дуги. Такие напряжения можно получить, обеспечивая сборку соединения с натягом. Для этого необходимо [2] выполнить условие:

$$p \le 0{,}58\sigma_{\text{тт}}\left[1-\left(\frac{d}{d_2}\right)^2\right], \qquad (1)$$

где p – давление на поверхности контакта деталей;

$\sigma_{\text{тт}}$ – предел текучести материала тонкостенной оболочки;

d, d_2 – наружный и внутренний диаметры оболочки (см. рис. 1, *а*).

Эксперименты на деталях из стали 1Х18Н10Т при сочетании толщин 0,2 и 10 мм показали, что шероховатость поверхности

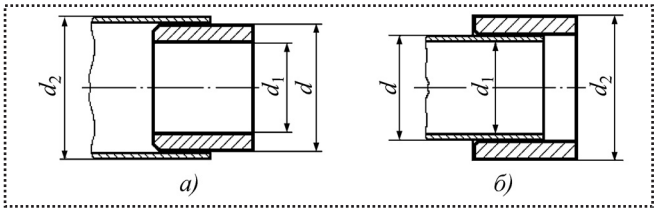


Рис. 1. Варианты взаимного расположения деталей:
а – тонкостенная оболочка надета на массивную деталь; *б* – тонкостенная оболочка вставлена в полость массивной детали

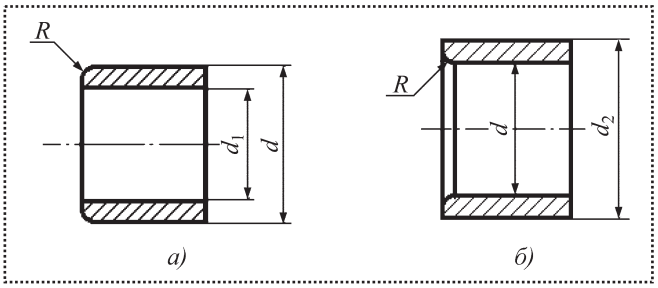


Рис. 2. Подготовка массивной детали к сборке при наружном (*а*) и внутреннем (*б*) расположениях тонкостенной детали

тонкостенной детали следует принимать в состоянии поставки листа с завода-изготовителя, а шероховатость поверхности массивной детали должна быть такой же. Внешний угол торца сопрягаемой части массивной детали для облегчения процесса сборки узла следует выполнять в виде галтели радиусом $R \geq 1$ мм (рис. 2, *а*) с той же чистотой обработки, что и сопрягаемая поверхность массивной детали. Диаметр сопрягаемой части массивной детали должен быть таким, чтобы после сборки соединения тонкостенная деталь имела только упругие деформации.

В результате сборки свариваемых деталей с натягом под действием контактного давления p внутренний диаметр тонкостенной оболочки увеличится на $\Delta d_т$, а наружный диаметр массивной детали уменьшится на $\Delta d_м$, которые находят по формулам [2]:

$$\Delta d_т = \frac{2pd^2 d_2}{E_т (d_2^2 - d^2)}; \quad (2)$$

$$\Delta d_м = \frac{2pd^2 d_1}{E_м (d^2 - d_1^2)}, \quad (3)$$

где $E_т$ и $E_м$ – модули упругости сопрягаемых деталей.

Подставив в (2) и (3) выражение p из (1) и проведя преобразования, получим:

$$\Delta d_т = \frac{1{,}16\sigma_{тт} d^2}{E_т d_2}; \quad (4)$$

$$\Delta d_м = \frac{1{,}16\sigma_{тт} (d_2^2 - d^2) d^2 d_1}{E_м d_2^2 (d^2 - d_1^2)}. \quad (5)$$

Диаметр сопрягаемой части массивной детали выбираем из условия

$$d_м = d_{вн.т} + \Delta d_т + \Delta d_м, \quad (6)$$

где $d_{вн.т}$ – внутренний диаметр тонкостенной оболочки.

При расположении тонкой кромки внутри массивной детали сопрягаемая часть тонкостенной оболочки вставляется внутрь массивной детали (рис. 1, *б*). При таком варианте взаимного расположения свариваемых деталей в процессе сборки необходимо обеспечить отсутствие зазора по всей площади их сопряжения. Величина сборочного натяга должна быть минимальной, так как в этом случае сборочные напряжения совпадают по знаку с напряжениями, возникающими в результате действия сварочного источника тепла.

В рассматриваемом случае обеспечить необходимые параметры сборки можно тремя способами. Детали можно собирать с натягом, когда, во-первых, их посадочные части имеют цилиндрическую форму; во-вторых, когда посадочная часть тонкостенной оболочки имеет цилиндрическую форму, а посадочная часть массивной детали – коническую; в-третьих – сборка соединения с использованием упругопластической деформации сопрягаемых частей деталей.

Рассмотрим особенности этих способов сборки при расположении сопрягаемой части тонкостенной оболочки внутри массивной детали. При цилиндрических формах сопрягаемых поверхностей требования к их чистоте остаются такими же, как и в случае наружного расположения тонкостенной детали. На внутреннем торце массивной детали для облегчения сборки выполняют галтель радиусом $R \geq 1$ мм (рис. 2, *б*).

Максимальную величину сборочного натяга определим из условия деформации тонкостенной детали в упругой области [2] по формуле:

$$N = \frac{pd\left(\frac{1+\left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1\right) + \frac{pdE_1}{E_2}\left(\frac{1+\left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1-\left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2\right)}{E_1}, \quad (7)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона соответственно для охватывающей и охватываемой деталей.

Подставив в (7) выражение p из (1), получим

$$N = \frac{0{,}58\sigma_{\text{тт}} d\left(1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2\right)\left(\frac{1+\left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1\right) + \frac{0{,}58\sigma_{\text{тт}} dE_1\left(1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2\right)}{E_2}\left(\frac{1+\left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1-\left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2\right)}{E_1}. \quad (8)$$

Для обеспечения минимальной величины сборочного натяга внутренний диаметр толстостенной оболочки $d_{\min}$ следует задавать из условия

$$d_{\min} = d - 0{,}01. \quad (9)$$

При внутреннем расположении тонкостенной оболочки в процессе сварки внешнее давление, обусловленное сборочным натягом, складывается с давлением, возникающим в результате теплового воздействия сварочного источника на тонкостенную оболочку. В этом случае необходимо, чтобы суммарное давление не привело к потере ее устойчивости. Критическое внешнее давление, приводящее к потере устойчивости оболочки, определяется выражением [3]:

$$p_{\text{кр}} = 1{,}6E\frac{\delta^2}{RL}\sqrt{\frac{\delta}{R}}, \quad (10)$$

где E – модуль упругости;

δ, R и L – соответственно толщина, радиус, длина оболочки.

Определение внешнего давления, возникающего от действия сварочного источника, в данном случае затруднено из-за отсутствия необходимых граничных условий. Анализ выражений (1), (10) и критического внешнего давления при потере оболочкой устойчивости показал, что давление, обусловленное сборкой, меньше критического в 2,5 раза. Кроме того, в процессе сварки постоянно уменьшается свободный (не соединенный с массивной деталью) периметр тонкостенной оболочки, а это обуславливает, как следует из (10), постоянное увеличение критического давления.

Все это позволило сделать предположение, что суммарное давление, возникающее от сборки и сварки, не превысит критической величины. Для проверки были сварены 20 цилиндрических образцов из стали Х18Н10Т с диаметром сопряжения 60 мм при сочетании толщин 0,2 и 2 мм. Сборочный натяг рассчитывали по формуле (8). В результате ни на одном из образцов не произошло потери устойчивости тонкостенной оболочки, что подтверждает сделанное предположение.

При внутреннем расположении тонкостенной оболочки можно обеспечить отсутствие сборочного зазора, если сопрягаемую часть массивной детали выполнить конусной (рис. 3). Подставив в формулу (7) выражение p из (10), получим

$$N_{\text{к}} = \frac{1{,}6E_1\frac{\delta^2}{RL}\sqrt{\frac{\delta}{R}}d\left(\frac{1+\left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1\right) + \frac{1{,}6\frac{\delta^2}{RL}\sqrt{\frac{\delta}{R}}dE_1^2}{E_2}\left(\frac{1+\left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1-\left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2\right)}{E_1}. \quad (11)$$

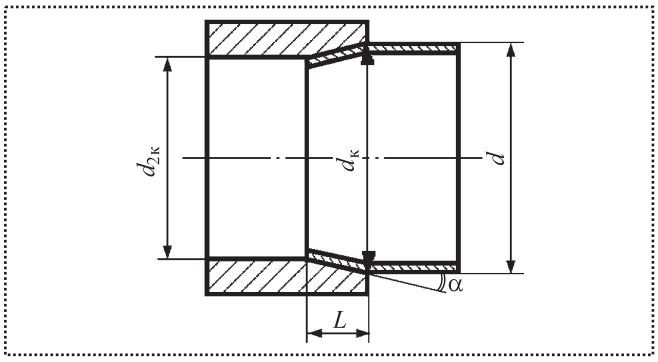


Рис. 3. Сборка соединения при сопрягаемой части массивной детали, выполненной в виде конуса

Превышение величины натяга $N_к$ в случае если бы осуществлялась сборка деталей цилиндрической формы приводит к потере устойчивости тонкостенной оболочки. При конусной форме сопрягаемой части массивной детали напряжения, близкие к критическим, возникнут только по периметру в торцевой части тонкостенной оболочки и будут уменьшаться с ростом диаметра конуса по мере увеличения расстояния от торца тонкостенной оболочки.

Меньший диаметр конуса

$$d_{2к} = d - N_к. \quad (12)$$

Больший диаметр конуса $d_к$ совпадает с наружным диаметром d тонкостенной оболочки:

$$d_к = d. \quad (13)$$

Угол конуса $\alpha = 1...3°$ в зависимости от длины сопрягаемой части тонкостенной оболочки [4].

Рассмотрим соединение деталей с использованием совместной деформации. Тонкостенная и массивная оболочки при приложении к их внутренним поверхностям равного давления имеют различные увеличения диаметров в упругих областях. Поэтому, если при внутреннем расположении тонкостенной оболочки к ее внутренней поверхности приложить такое давление, чтобы в результате совместной деформации собираемых деталей деформации тонкой детали находились в упругопластической области, а массивная оболочка деформировалась упруго, тогда после снятия сборочного давления внутренний диаметр массивной оболочки будет стремиться к исходной величине, а диаметр тонкостенной оболочки уменьшится только на величину упругой составляющей полученной деформации, в результате чего образуются равномерные контактные давления на сопрягаемых поверхностях обеих деталей, т.е. образуется сборка соединения с натягом. Осуществить совместную деформацию деталей можно, например, с помощью разжимной цанговой оправки.

Величину удельного давления, которое необходимо приложить к внутренней поверхности сопрягаемой части тонкостенной оболочки для обеспечения качественной сборки, выбирают из условия

$$0{,}58\sigma_{тм}\left[1-\left(\frac{d}{d_2}\right)^2\right] > p > 0{,}58\sigma_{тт}\left[1-\left(\frac{d_1}{d}\right)^2\right], \quad (14)$$

где $\sigma_{тм}$ – предел текучести материала массивной оболочки.

Экспериментальная проверка показала, что при сварке образцов тонкостенных оболочек, собранных с массивными деталями с использованием разработанных способов, формируются качественные сварные соединения без прожогов и подрезов.

Выводы

Качество сварных соединений тонкостенных цилиндрических оболочек с массивными деталями можно повысить, применяя сборку деталей с натягом как с наружным, так и с внутренним расположением тонкостенной оболочки.

При внутреннем расположении тонкостенной оболочки в массивной детали натяг можно получить за счет их совместного деформирования в зоне соединения.

Полученные формулы для определения параметров сборки позволяют обеспечить устойчивость кромки тонкостенной оболочки в процессе как ее сборки с массивной деталью, так и сварки.

Библиографический список

1. **Корчагин П.В., Казаков Ю.В., Потехин В.П.** Термодеформационные процессы при сварке непрерывной дугой разнотолщинных деталей // Сварочное производство. 2010. № 4. С. 3–8.

2. **Берникер Е.И.** Посадки с натягом в машиностроении. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 168 с.

3. **Авдонин А.С.** Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1969. 402 с.

4. **Казаков Ю.В., Корчагин П.В.** Способ сборки под сварку плавлением разнотолщинных деталей. А.с. СССР № 1704991 от 11.03.90 г.

УДК 621.9.047

А.И. Коптев, *аспирант,* **А.В. Кузовкин,** *д-р техн. наук*
(Воронежский государственный технический университет),
А.В. Титов, *д-р техн. наук (Казанский государственный энергетический университет)*
E-mail: akuzovkin@mail.ru

Проектирование и изготовление сборных мелкомодульных долбяков с твердосплавной рабочей частью

Рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования профиля твердосплавных инструментов с учетом управления точностью ориентации в изделии режущих элементов, например в долбяках с модулем менее 2 мм. Учтены особенности изготовления режущих элементов, имеющих малое сечение и требующих особых технологических приемов для сохранения прочности при сборке, формировании режущих кромок и в процессе эксплуатации. Предложены новые конструкции и методы изготовления инструмента ограниченного потребления.

Work examines questions of the automated designing of the profile of tools from the hard alloy. Special attention is inverted to control of the accuracy of orientation in the article of the cutting elements, for example in the gear-cutting tool with the module it is less than 2 mm. Are taken into account the special features of the production of the cutting elements, which have small section also the requiring special technological methods for retaining the strength with the assembling, shaping of cutting edges and in the process of operation. New constructions and methods of preparing the tool of the limited consumption are proposed.

Ключевые слова: твердосплавный инструмент, обработка зубчатых колес, модуль, конструкция, методы изготовления.

Key words: carbide tool, working gears, module, construction, the methods of the production.

К особенностям проектирования и изготовления сборных долбяков с твердосплавными режущими элементами (втулками, пластинами) следует отнести малую жесткость элементов, большое отношение длины пластин к их сечению в поперечном направлении, что снижает прочность сборной конструкции. Известно, что усталостная прочность твердосплавных элементов (особенно пластин с малыми сечениями, характерных для мелкомодульных долбяков) зависит от градиентов температуры, возникающей в процессе изготовления, заточки и работы инструмента.

Исследования последних лет показали, что нежесткие режущие элементы сборных долбяков целесообразно изготавливать электроэрозионным и комбинированным методами непрофилированным проволочным электродом. Современные станки такого типа позволяют разделять заготовки на точные элементы, в частности, пластины требуемой толщины (в нашем случае до 2–3 мм), с линейной скоростью до 8 мм/мин, что недостижимо даже при резке алмазными дисками.

Кроме того, проволочный инструмент дает возможность формировать геометрию рабочей кромки в процессе резания заготовки и получать профиль рабочей части с погрешностью менее 2–3 мкм при шероховатости поверхностного слоя Ra ~ 0, 12 мкм (для сплавов вольфрамокобальтовой группы). Тогда заточка долбяков сводится к притирке рабочего контура собранных изделий алмазной пастой с удалением припуска не более 0,02–0,03 мм до достижения шероховатости Ra = 0,1...0,16 мкм, при которой уже не наблюдаются микродефекты, являющиеся концентраторами напряжений, снижающими стойкость инструмента.

Для получения качественных мелкомодульных долбяков требуется рассчитать профиль рабочей части инструмента и совместить его с установочными элементами корпуса. При изго-

товлении инструмента с малым сечением приходится режущую часть выполнять в виде отдельных пластин малого сечения и соединять их с корпусом пайкой, сохраняя при сборке индивидуальное положение всех пластин, что возможно при автоматизированном проектировании режущих кромок для конкретных пазов в корпусе долбяка. Точность положения режущих частей собранного изделия обычно находится в пределах 0,01–0,015 мм, а допуски на опорные поверхности корпуса, как правило, не ниже 0,02 мм.

Для обеспечения точности требуемого профиля сборного инструмента требуется индивидуальный расчет вырезаемых пластин с учетом технологических возможностей применяемых технологий, что возможно при использовании САПР, установленных на электроэрозионном оборудовании, выпускаемом в основном швейцарскими, японскими и немецкими фирмами. Так, станки фирмы AGIECUT позволяют раздельно управлять линейными и угловыми координатами перемещения проволочного электрода на противолежащих поверхностях пластин, обеспечивая получение сложного профиля с точностью позиционирования ±0,001 мм.

Для реализации возможностей оборудования требуется автоматизированная система программирования, осуществляемая разработанной структурой САПР, учитывающей кроме режущих элементов индивидуальную геометрию корпуса инструмента, что особенно актуально в единичном производстве точных сборных мелкомодульных долбяков.

Этапы автоматизированной технологической подготовки изготовления сборных мелкомодульных долбяков:

– анализ геометрии их корпусов, оценка их жесткости и возможности установки режущей

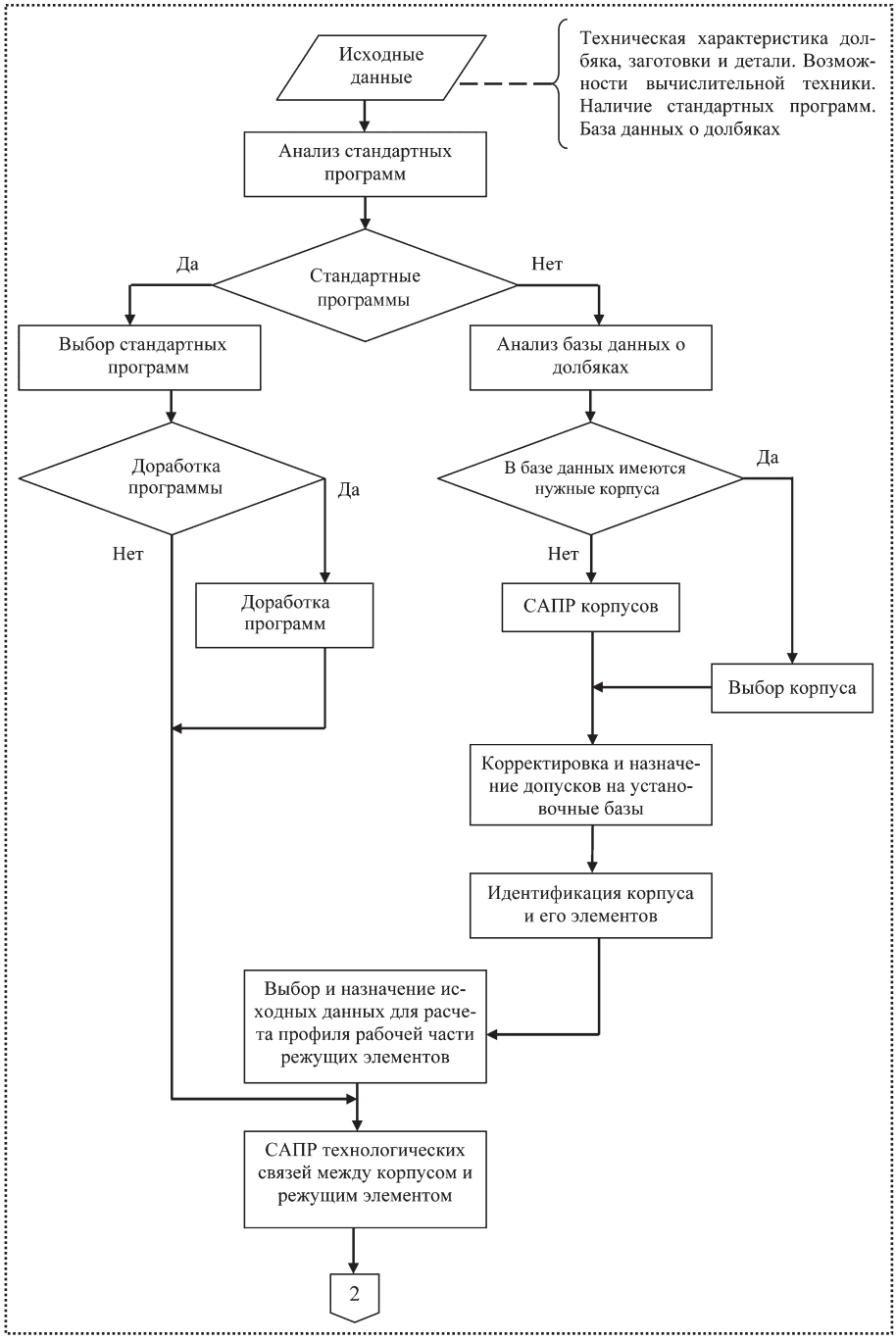


Рис. 1. Алгоритм САПР мелкомодульного долбяка

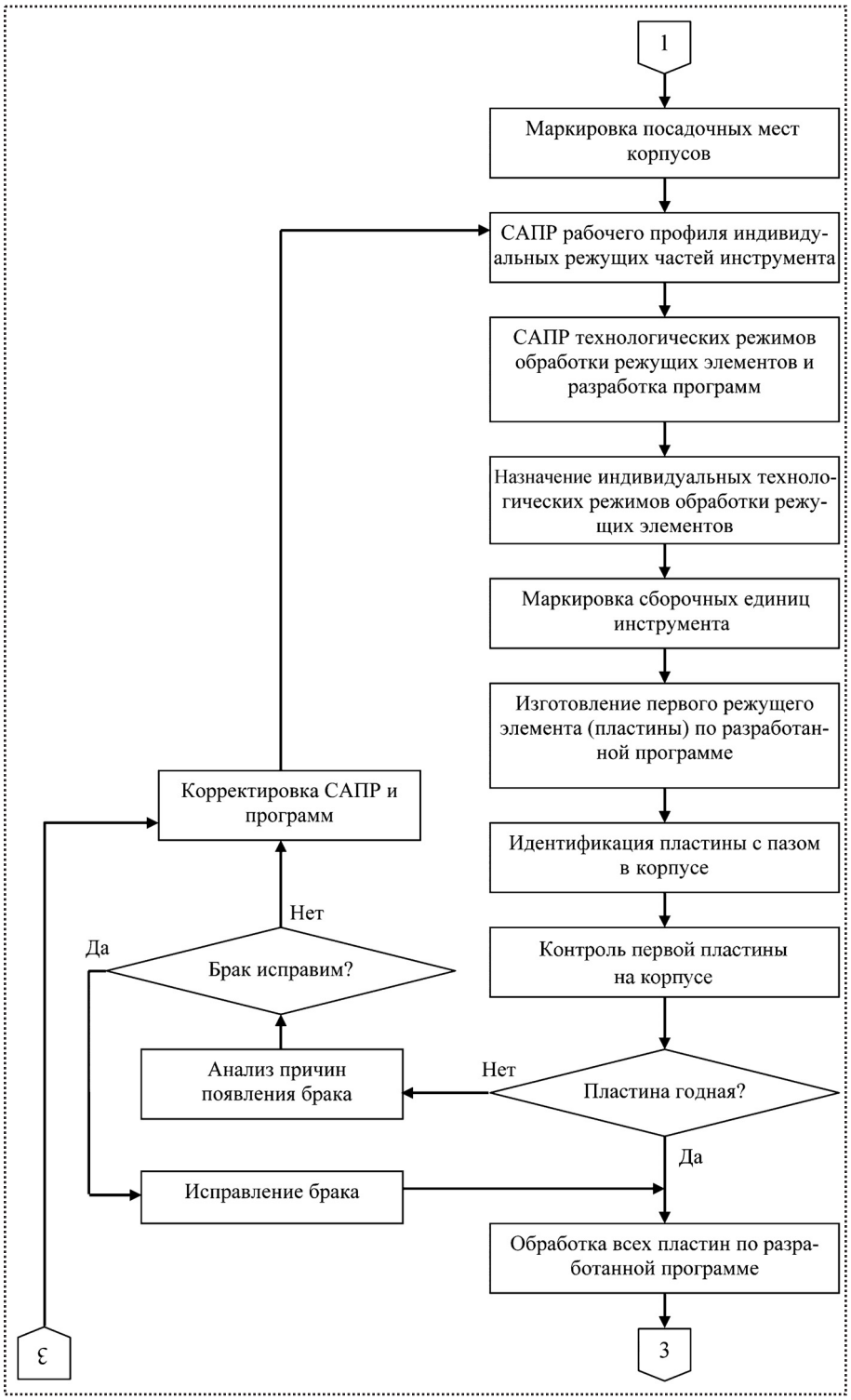


Рис. 1. ***Продолжение***

части из твердого сплава в форме цельного элемента, обладающего прочностью, достаточной для работы инструмента. Если диаметр долбяка не позволяет использовать цельную режущую часть, то проектируют твердосплавные пластины, окончательную форму которых перед сборкой рассчитывают для индивидуальных пазов на корпусе инструмента, для чего требуется создание карты установочных баз в месте крепления при сборке твердосплавных пластин и пополнение информации о конкретном инструменте в базе данных информационного центра;

– выбор и назначение исходных сведений для расчета рабочего профиля и подбора режущих элементов (с учетом технических и экономических возможностей процессов разделения заготовок, сведений о геометрии и характеристиках непрофилированного электрода-проволоки, величин межэлектродных зазоров, геометрических параметров и свойств заготовки, характеристик материалов режущей части и др.);

– автоматизированное проектирование рабочего профиля режущих элементов с базированием от установочных баз корпуса и создание индивидуальной программы обработки каждого рабочего элемента, что обеспечивает необходимую точность инструмента после сборки;

– изготовление непрофилированным электродом-проволокой режущих элементов с формированием рабочей части инструмента, позволяющее получить для сборных твердосплавных долбяков погрешность рабочей части не более ±0,005 мм. Это устраняет необходимость в абразивной (в том числе алмазной) заточке, соз-

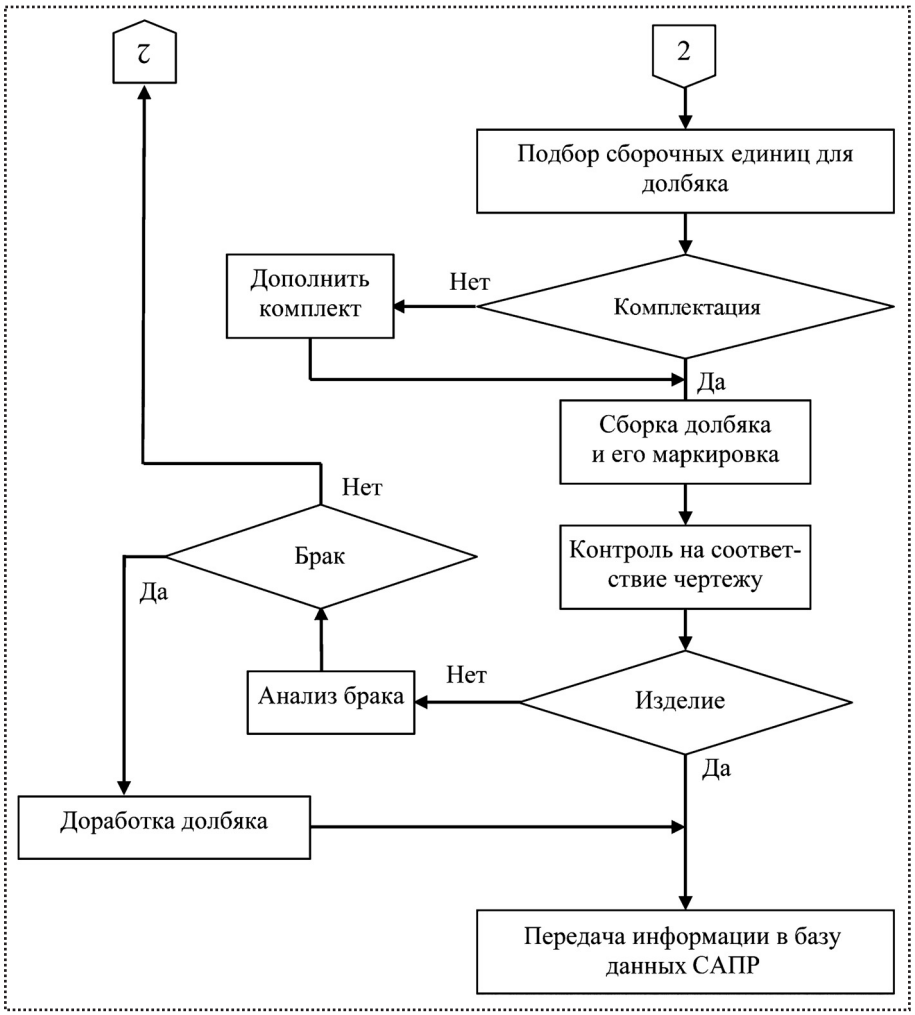


Рис. 1. ***Окончание***

дающей повышенный нагрев, коробление и микрорастрескивание рабочей кромки инструмента. При индивидуальном расчете режущих пласти мелкомодульные долбяки целесообразно притирать, снимая припуск не менее 0,005 мм до достижения шероховатости кромки Ra = 0,08...0,16 мкм;

– сборка изделия (как правило, с натягом, высокотемпературная пайка или диффузионная сварка) и установка режущих элементов на фиксированные базы корпуса;

– контроль положения и профиля рабочей части инструмента, а также оценка погрешностей относительно расчетных параметров автоматизированного проектирования. При необходимости может выполняться разработка автоматизированных программ дополнительной индивидуальной притирки и доводки с получением требуемой геометрии рабочего профиля в сборке;

– контроль шероховатости поверхностного слоя (общий или выборочный);

– приемочный контроль инструмента.

Поскольку мелкомодульные долбяки выпускаются единично, то требуется их индивидуальное маркирование, обеспечивающее возможность поддержания качества их ремонта и переточек. При этом следует проверять нанесение индивидуальных индексов всех пластин, вносить эти сведения в базу данных и при необходимости изготавливать требуемые ремонтные детали для конкретных пазов в корпусе долбяка. Нанесение индексов на ограниченные площадки твердых сплавов предпочтительнее выполнять электрохимическим методом [1], позволяющим получить маркировку, стойкую к внешним воздействиям, возникающим в процессе эксплуатации инструмента.

Проектирование мелкомодульных долбяков может быть автоматизировано, если известны характеристики связанных между собой конструктивных элементов, отражающих профиль и технологические требования к детали, возможности оборудования и оснастки, этапы и показатели изготовления составляющих частей инструмента, сборку и последующую обработку (настройку, доводку и др.) всего изделия. Алгоритм построения САПР мелкомодульных долбяков приведен на рис. 1. Структура алгоритма соответствует этапам автоматизированной технологической подготовки, приведенным выше.

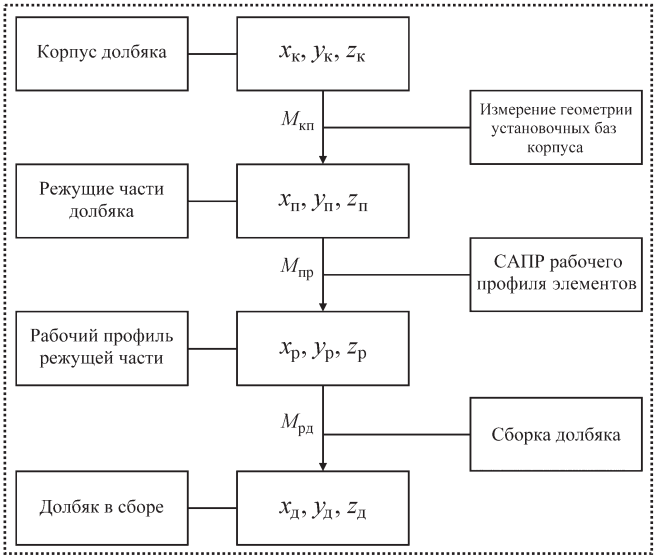


Рис. 2. Граф проектирования сборных долбяков

САПР рассматриваемого инструмента создана с использованием метода графов, структура которого для рассматриваемого случая приведена на рис. 2.

Очевидно, что эксплуатационные показатели мелкомодульного долбяка зависят от жесткости и точности корпуса, характеристик твердосплавных элементов, особенно пластин, ориентирования их в корпусе. Связь между элементами изделия устанавливается матрицами перехода, которые должны быть известны (например, путем расчета, измерения посадочных мест корпуса) или спроектированы с учетом требований чертежа детали.

В отличие от принятых методов раздельного проектирования элементов инструмента разработанная структура САПР позволяет обосновать вариант проектирования инструмента и связать в единую систему все этапы его создания, учесть в расчетах возможные погрешности профиля пластин, вызванные их низкой жесткостью, механическими и термическими нагрузками при сборке и эксплуатации. Точностной анализ (например, с помощью размерных цепей) позволяет обосновать необходимость (или отсутствие) дополнительных затрат на перезаточку (доводку) рабочего профиля после сборки инструмента.

В традиционных методах изготовления мелкомодульных долбяков основная часть чистовых операций выполняется после сборки, когда инструмент имеет достаточную жесткость. Однако такой подход не эффективен для мелкомодульных долбяков, весьма трудоемок, не позволяет учесть характеристики отдельных режущих частей, в частности, пластин, и их дефекты, так как они выявятся только на окончательном этапе профилирования режущих частей после сборки (скрытые полости, расслоение, неспекание и др.). Профилирование режущих частей инструмента непрофилированным электродом дает возможность автоматически рассчитать по индивидуальным программам и изготовить мелкомодульные долбяки с высокой степенью готовности, не требующей в ряде случаев даже последующей заточки в сборке (особенно при цельной рабочей части).

Из рис. 2 следует, что первоначально автоматизированно проектируют или берут в качестве базового элемента типовой корпус долбяка, где возможна корректировка посадочных мест для установки режущих элементов. САПР корпуса позволяет выполнить техническое и экономическое обоснование требуемой точности посадочных мест с учетом минимизации себестоимости всего инструмента. На базе анализа вариантов изготовления долбяка разрабатывается матрица перехода от корпуса долбяка ($x_к$, $y_к$, $z_к$) к режущим элементам, в частности, к пластинам (заготовки, материал, характеристики, геометрия и др.):

$$x_к, y_к, z_к \xrightarrow{M_{кп}} x_п y_п z_п. \quad (1)$$

С помощью матрицы перехода $M_{кп}$ проектируется рабочий профиль режущих частей пластин. Здесь могут быть учтены припуски на чистовую обработку в сборке (если это требуется), погрешности при соединении элементов с корпусом, деформация нежестких режущих частей при вырезании проволочным инструментом и др.

Матрица $M_{рд}$ обеспечивает реализацию САПР процесса сборки путем графического со-

пряжения рабочего контура режущих элементов (пластин) с теоретическим (расчетным) профилем детали. Здесь должно быть учтено количество рабочих элементов (пластин) в корпусе, допустимые погрешности посадочных поверхностей корпуса по линейным и угловым размерам, наружный профиль режущих частей.

Переходы на рис. 2 от одного расчетного узла к соседнему позволяют автоматизированно сформировать графы по направлению и величине, спроектировать программы для индивидуального изготовления режущих частей инструмента с требуемой геометрией. Для этого необходимы модели, учитывающие технологические возможности процессов обработки, эксплуатационные требования, индивидуальные особенности режущих элементов. Для матрицы $M_{\text{кп}}$ модель имеет вид [2]:

$$A(x, y, z, \alpha_x, \alpha_y, \alpha_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ -x & -y & -z & 1 \end{bmatrix} \times$$
$$\times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_x & \sin\alpha_x & 0 \\ 0 & -\sin\alpha_x & \cos\alpha_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha_y & 0 & -\sin\alpha_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha_y & 0 & \cos\alpha_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \quad (2)$$
$$\times \begin{bmatrix} \cos\alpha_z & \sin\alpha_z & 0 & 0 \\ -\sin\alpha_z & \cos\alpha_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где x, y, z – координаты рассматриваемой точки O системы координат корпуса долбяка ($x_{\text{к}}$, $y_{\text{к}}$, $z_{\text{к}}$) относительно базовых поверхностей режущего элемента ($x_{\text{п}}$, $y_{\text{п}}$, $z_{\text{п}}$);

α_x, α_y, α_z – углы поворота рассматриваемой системы координат.

Матрицы перехода позволяют быстро переходить от полученного результата расчета к соответствующим исходным параметрам, что открывает возможность оптимизации рабочего профиля путем использования результатов вариантных численных расчетов с автоматизированным контролем получения варианта, наиболее приближенного к требуемому показателю (например, по точности профиля).

Построение САПР мелкомодульного долбяка возможно с помощью матрицы (2) при условии нахождения связей между узлами (см. рис. 2). Такая связь между корпусом и режущими элементами устанавливается через произведение прямой и обратной матриц [2]:

$$M_{\text{кп}_m} = M_{\text{кп}} M_{\text{пр}} M_{\text{рд}}, \quad (3)$$

где m – количество рабочих элементов в корпусе.

Связь между корпусом и профилями режущих элементов определяется как

$$M_{\text{кр}} = \left| \begin{matrix} M_{\text{рд}}^{-1} M_{\text{кс}_m} \\ M_{\text{кд}} M_{\text{кр}} \end{matrix} \right., \quad (4)$$

где C – жесткая система "корпус – m-й режущий элемент".

В выражении (4) возможно использование любого варианта из нескольких вероятных. Вариантный расчет позволяет выбрать оптимальный технологический процесс, совершенство которого зависит от объема и достоверности исходной информации. Предложенный метод индивидуального расчета геометрии режущих частей из твердого сплава в сборном инструменте наиболее просто реализуется в современных многокоординатных электроэрозионных станках с непрофилированным однослойным или многослойным (с покрытием) электродом-проволокой.

Использование такого оборудования для индивидуального изготовления мелкомодульных сборных долбяков для гибкоструктурного производства требует создания системы программирования подач, учитывающих условия, принятые в разработанных моделях. Применение имеющегося математического аппарата ограничено необходимостью проектирования индивидуальных нерабочих участков, где геометрические размеры могут иметь допуски, превышающие межэлектродные зазоры, что скажется на точности изготовления рабочих элементов.

Для чистового профилирования траектория перемещения электрода-проволоки должна постоянно (в реальном масштабе времени) корректироваться на величину межэлектродных зазоров, измеренных по нормали к обрабатываемой поверхности. При этом величина зазора зависит от режимов обработки, вида и характера материала, покрытия, формы проволоки. Исследования, приведенные в [3], показывают, что проволочным электродом с покрытием можно достичь точности и производительности, обеспечивающих получение конечного рабочего профиля мелкомодульных долбяков (по твердому сплаву $Ra < 0{,}15$ мкм) при линейной скорости профилирования (с погрешностью около 2 мкм) более 6 мм/мин.

САПР траектории электрода-проволоки включает два этапа – моделирование и перемещение инструмента относительно заготовки с требуемой геометрией режущей части, которую можно формировать проволочным электродом [4].

Эвольвентные зубчатые колеса обычно выполняют из стали с цементацией зубьев (рис. 3, *а*, *г*, *д*, *з*, *и*) или после закалки с отпуском. Термообработка вносит погрешности в геометрические параметры инструмента и ее желательно выполнять на стадии заготовительного этапа технологического процесса. Это особенно обоснованно для нежестких деталей с мелкомодульными эвольвентными профилями, для которых применяют обрабатывающий инструмент с твердосплавными режущими элементами.

С экономической точки зрения выгодно использовать для этих операций долбяки, которые позволяют нарезать зубья на заготовках большой высоты (рис. 3, *б*, *в*); при ограниченном выходе инструмента из зоны резания (рис. 3, *г*, *д*, *и*); в случае малой жесткости детали (рис. 3, *е*, *ж*) и малого диаметра отверстия во втулке, где нарезаются зубья (рис. 3, *з*). Операции по формированию эвольвентных профилей на внутренних поверхностях можно выпол-

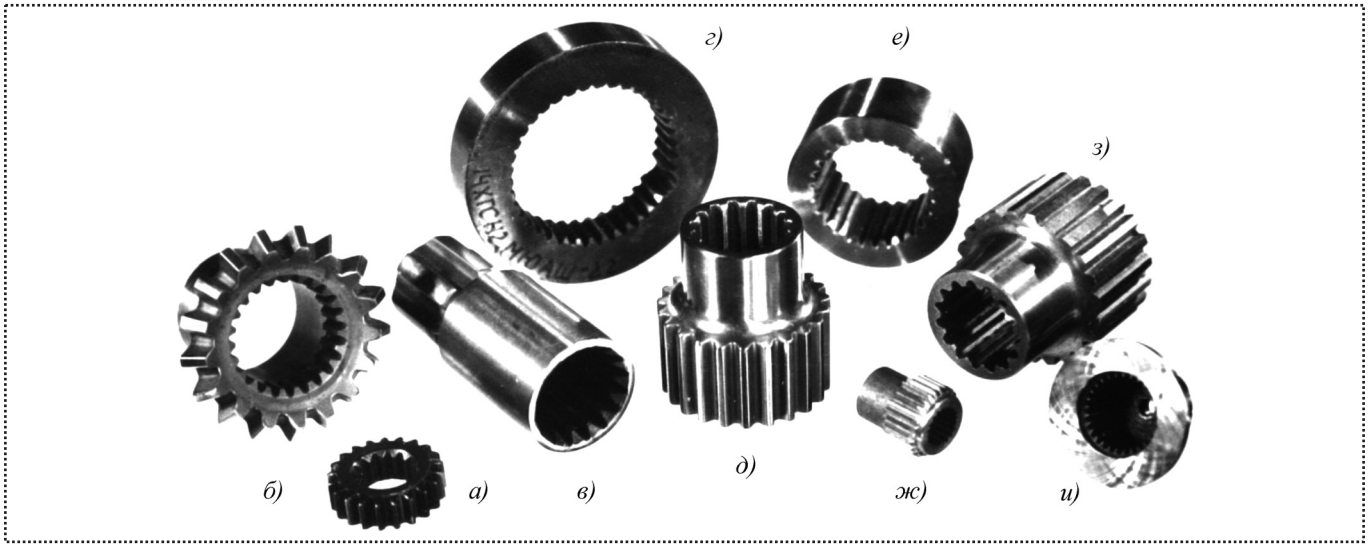


Рис. 3. Мелкомодульные зубчатые колеса:
а – зубчатые колеса малой высоты (до 15 мм);
б – детали с мелкомодульными внутренними зубьями на торцевой части изделия небольшой высоты (до 30 мм);
в – внутренние зубья в торцевой части длинной детали (до 150 мм);
г – двойные торцевые ряды зубьев с ограниченным выходом долбяка (проточка шириной не менее 3 мм);
д – наружные и внутренние зубчатые венцы с ограниченным выходом инструмента по внутреннему зубу;
е – внутренние мелкомодульные зубья в тонкостенных втулках;
ж – наружные зубья на тонкостенных втулках;
з – внутренние мелкомодульные зубья в отверстии малого диаметра (18 мм);
и – "глухое" отверстие с внутренним зубчатым венцом

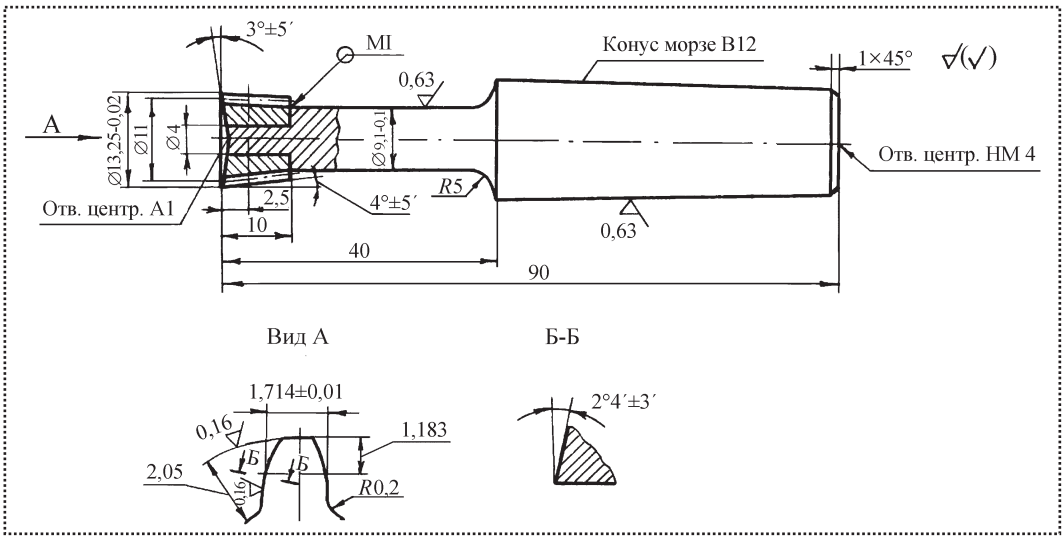


Рис. 4. Мелкомодульный долбяк с m = 1 мм, числом зубьев – 11

нить протягиванием, но в индивидуальном производстве изготовление дорогостоящих протяжек экономически невыгодно.

В авиакосмической отрасли для изготовления зубчатых колес с малым модулем в основном используют сплавы 19ХГСН2МА, ВНЛ1, ВНЛ3, ВНЛ5, ЖС$_1$-ДК, часть которых трудно поддается механообработке (скорость резания лезвийным инструментом до 4–4,5 м/мин), поэтому для нарезания зубьев могут использоваться только твердосплавные сборные долбяки, в основном с модулем 1 мм, типовая конструкция которых приведена на рис. 4. Корпус выполнен из стали 9ХС, а пластины – из сплава Т15К6 в форме цельной втулки, установленной на корпус с натягом и с пайкой латунным припоем в вакуумной печи. Расчеты показали, что в данном случае жесткость корпуса достаточна для посадки с натягом режущего элемента в форме втулки.

К особенностям технологического процесса изготовления долбяка относится получение твердосплавной втулки с зубьями непрофилированным проволочным электродом на чистовом режиме. В [4] показано, что детали (зубья долбяка), имеющие высоту неровностей менее Ra = = 0,32 мкм (такую шероховатость вполне обеспечивают современные электроэрозионные станки с непрофилированным электродом), можно не шлифовать (что не всегда выполнимо абразивным инструментом), а прирабатывать на конструкционных материалах до получения режущей кромки с Ra = 0,1...0,16 мкм (как правило, это занимает время поворота инструмента на 1–2 оборота).

Как видно из рис. 4, твердосплавные долбяки имеют углы уклона режущих поверхностей 3–4°, хотя для стального инструмента рекомендуются углы не менее 6° [5]. При использовании электрода-проволоки в процессе ее изнашивания при резании образуется уклон стенок заготовки, который зависит от толщины разрезаемого материала и скорости перемотки проволоки. Минимальная допустимая скорость перемотки позволяет достичь наиболее экономичного режима обработки. При изготовлении твердосплавного инструмента этот показатель выбирают по зависимостям, приведенным на рис. 5 [4].

Известно [4], что с увеличением толщины заготовки желательно использовать более толстую проволоку (например, для латуни – диаметром 0,1–0,3 мм). При длине зоны резания более 100 мм выбирают проволоку с диаметром не менее 0,25 мм, так как дальнейшее увеличение скорости перемотки электрода не гарантирует отсутствие его обрывов из-за образования местных электроэрозионных каверн, являющихся концентраторами напряжений.

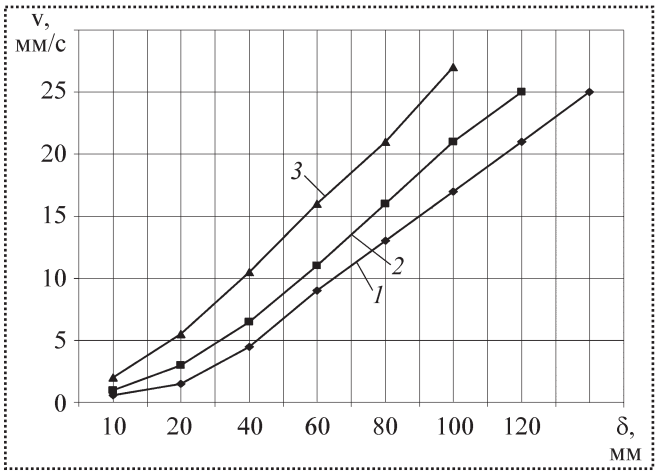


Рис. 5. Минимальная скорость v перемотки проволоки при разрезании заготовок толщиной δ:
1 – диаметр латунной проволоки 0,3 мм; *2* – 0,2 мм; *3* – 0,1 мм

При изготовлении мелкомодульных долбяков требуется получить углы резания 3...4° ±5′, а процесс обработки непрофилированным электродом-проволокой образует уклоны более 1,5° (рис. 6). Поэтому при программировании процесса требуемые углы резания рассчитывают с учетом уклонов, получаемых при минимальной скорости обработки (см. рис. 5). Этот параметр находят как разницу между заданным углом [α] и углом β, характеризующим уклон при обработке твердосплавного кольца (или пластины) электроэрозионным методом электродом-проволокой. В рассматриваемом случае (см. рис. 4) кольцо при обработке на станке должно быть установлено с вершиной уклона в сторону подачи свежей проволоки и перемещаться относительно инструмента под постоянным углом φ, характеризующим управляемую угловую координату станка:

$$\varphi = [\alpha] - \beta, \qquad (5)$$

где β выбирается по рис. 6 в зависимости от толщины заготовки и диаметра проволоки.

Контур рабочей поверхности долбяка (см. рис. 4) и мелкомодульных зубчатых колес (см. рис. 3) совпадает, поэтому в перспективе можно изготавливать предложенным методом единичные зубчатые колеса. Однако следует учесть, что при нарезании долбяком внутренних зубчатых венцов обработка возможна при выходе инструмента из зоны обработки не менее чем на 1,5–2,0 мм, а использование проволочного электрода требует свободного пространства по всей длине отверстия в заготовке. В случае большей длины втулки не удается обеспечить требуемую точность профиля зуба, наблюдается повышенный расход проволоки, снижается производительность процесса. Поэтому даже при ограниченном выпуске зубчатых колес целесообразно применять долбяки (в том числе твердосплавные), изготавливая их с применением электроэрозионного метода формирования профиля проволочным электродом-инструментом.

Выводы

В современном машиностроении используют большое количество деталей с эвольвентными зубьями, шлицами, выпускаемых по единичной программе. Мелкомодульные долбяки для них должны быть оснащены твердосплавными режущими элементами, так как другие инструментальные материалы не обеспечивают стойкость инструмента при обработке зубчатых венцов из высокопрочных материалов. Традиционные технологии изготовления сборного инструмента весьма трудоемки и сильно удорожают изделия с зубчатыми передачами и эвольвентными соединениями.

Предложен новый способ изготовления мелкомодульных долбяков с твердо-

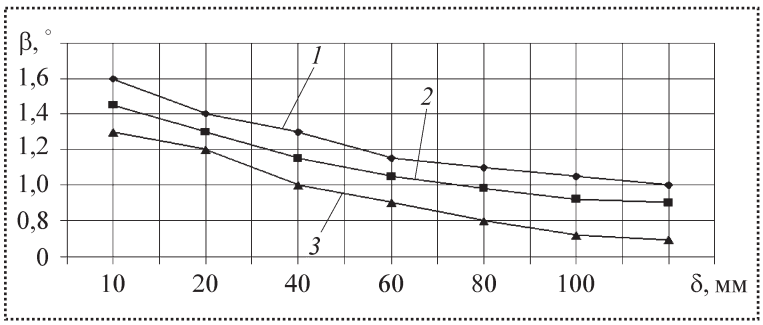


Рис. 6. Уклон β стенок паза при минимальной скорости перемотки проволоки:
1 – диаметр латунной проволоки 0,3 мм; *2* – 0,2 мм; *3* – 0,1 мм

сплавными элементами электроэрозионным методом непрофилированным электродом, показавшим большие преимущества перед традиционными видами обработки.

Сконструированы долбяки с учетом специфики нового метода обработки, в частности, рабочая часть изготовлена в форме цельной втулки, обеспечивающей наибольшую точность нарезания эвольвентных зубьев. Обоснована возможность исключения шлифования на специальном оборудовании, что заметно расширяет область использования мелкомодульных долбяков в гибкоструктурном производстве.

Разработан технологический процесс обработки непрофилированным электродом-проволокой, даны методики расчета углов резания и их выполнения на имеющемся автоматизированном оборудовании.

Показана область использования электроэрозионной обработки непрофилированным инструментом с покрытием, обеспечивающим производительность, повышающую возможности механообработки, что делает рентабельным использование этого метода для изготовления не только мелкомодульных долбяков, но и зубчатых колес основного производства.

Библиографический список

1. **Смоленцев В.П., Смоленцев Г.П., Садыков З.Б.** Электрохимическое маркирование деталей. М.: Машиностроение, 1983. 72 с.
2. **Барботько А.И., Гладышкин А.О.** Основы теории математического моделирования. Ст. Оскол: "ТНТ", 2008. 212 с.
3. **Коденцев С.Н.** Механизм протекания процесса эрозионно-термической обработки деталей / Нетрадиционные методы обработки: сб. научн. тр., вып. 9. М.: Машиностроение, 2009. С. 130–138.
4. **Смоленцев В.П.** Изготовление инструмента непрофилированным электродом. М.: Машиностроение, 1967. 160 с.
5. **Четвериков С.С.** Металлорежущие инструменты. М.: Высш. школа, 1965. 732 с.

Уважаемые читатели, коллеги!

Поздравляю Вас с Новым годом!

Желаю всем благополучия, успехов и удач в жизни, исполнения Ваших надежд и желаний.

Встречая Новый год, мы, как и все наши соотечественники, подводим итоги года прошедшего, планируем мероприятия, чтобы исключить недоработки и неудачи.

Анализируя содержание нашего журнала за прошедший год, можно сказать, что, несмотря на имеющиеся недостатки, журнал развивается в задуманном направлении. Тем не менее, редакционному совету следует продолжать работу по организации контактов с промышленными предприятиями и научно-техническими организациями.

Еще раз желаю всем здоровья и успехов, удачи и благополучия в Новом году.

Академик РАН **Ф.М. Митенков**

УДК 621.865

Ю.З. Житников, *д-р техн. наук, профессор ("Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева"),*
Б.Ю. Житников, *д-р техн. наук (ВЮИ, г. Владимир)*
E-mail: kgta_tms@mail.ru

Обоснование параметров пружины для возвращения в исходное положение механизма схвата после срабатывания

Представлена методика определения параметров пружины, установленной в полость пневмоцилиндра, для возвращения механизма схвата после срабатывания в исходное положение.

For mechanism returning grab after operation the technique of definition of parameters of the spring established in a cavity of the air cylinder is presented to a starting position.

Ключевые слова: схват, робот-манипулятор, пружина, пневмоцилиндр.

Key words: grab, the robot-manipulator, a spring, the air cylinder.

Для возвращения элементов схвата в исходное положение после выполнения операции можно установить пружину в полость пневмоцилиндра. Сила пружины должна быть такова, чтобы преодолеть сопротивление движению поршня за счет трения уплотнительных элементов о внутреннюю поверхность пневмоцилиндра, движению штока за счет трения об уплотнение, а также сопротивление в шарнирах крепления элементов схвата.

Найдем их значения и определим минимальную силу пружины, необходимую для возвращения элементов схвата в исходное положение. Минимальная сила пружины соответствует силе ее предварительного сжатия при установке в полость пневмоцилиндра.

Пусть для обеспечения герметичности в сопряжении поршень – цилиндр установлены два кольцевых уплотнения круглого сечения (рис. 1). Величину сопротивления трению уплотнений о внутреннюю поверхность корпуса пневмоцилиндра можно найти по относительной деформации ε уплотнения [1]:

$$\varepsilon = \left(\frac{d-H}{d}\right)\cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где d – диаметр сечения кольцевого уплотнения;

H – глубина канавки под уплотнение;

$$H = \frac{D_п - d_3}{2}, \qquad (2)$$

где $D_п$ – внутренний диаметр пневмоцилиндра;

d_3 – внутренний диаметр канавки под кольцевое уплотнение.

Часть уплотнения, выступающая над цилиндрической поверхностью поршня:

$$\Delta = d - H.$$

По графику [1] зависимости контактного давления $p_к$ от относительной деформации уплотнения находим контактное давление (рис. 2). Площадь соприкосновения уплотне-

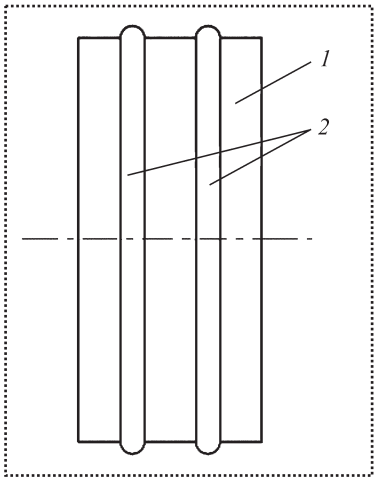


Рис. 1. Поршень *1* с уплотнениями *2*

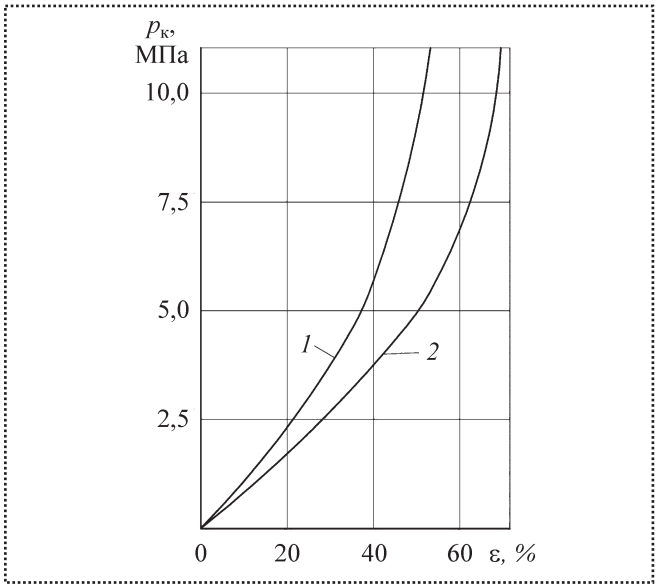


Рис. 2. График зависимости контактного давления $p_к$ от относительной деформации уплотнения ε для резиновых кольцевых уплотнений круглого (*1*) и прямоугольного (*2*) сечений

ния с внутренней поверхностью корпуса пневмоцилиндра

$$S_с = l\pi D_п,$$

где $l = 2r$ – длина линии соприкосновения сечения уплотнения и корпуса пневмоцилиндра (рис. 3):

$$r = \sqrt{\frac{d^2}{4} - \left(\frac{d}{2} - \Delta\right)^2} = \sqrt{d\Delta - \Delta^2}. \qquad (3)$$

С учетом (3)

$$S_с = 2\sqrt{d\Delta - \Delta^2}\pi D_п. \qquad (4)$$

Сила трения одного уплотнения о внутреннюю поверхность цилиндра

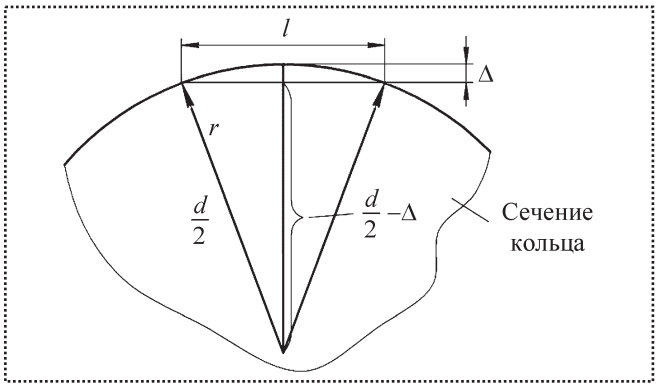


Рис. 3. Схема определения линии взаимодействия уплотнения и цилиндра

$$F_{тр} = pS_с f = 2p\sqrt{d\Delta - \Delta^2}\pi D_п f, \qquad (5)$$

где f – коэффициент трения уплотнения о стенку цилиндра.

При наличии n уплотнений сила

$$F_{тр} = npS_с f. \qquad (6)$$

Сила трения штока об уплотнение находится аналогично.

Суммарная сила трения поршня и штока

$$F_{тр\Sigma} = 2np\sqrt{d\Delta - \Delta^2}\pi df + F_{тр}^{шт}, \qquad (7)$$

где $F_{тр}^{шт}$ – сила трения штока.

При расчетах необходимо брать коэффициент сухого трения резинового уплотнения о внутреннюю поверхность цилиндра, так как в процессе эксплуатации не исключены случаи, когда смазка на поверхности цилиндра может высохнуть.

Минимальная сила пружины для возвращения элементов схвата в исходное положение

$$F_{пр} = kF_{тр\Sigma}, \qquad (8)$$

где k – коэффициент запаса силы пружины, учитывающий трение в шарнирах механизма схвата (k = 1,1).

Жесткость пружины

$$C = \frac{kF_{тр\Sigma}}{S_{пр}}, \qquad (9)$$

где $S_{пр}$ – величина предварительной деформации пружины при установке ее в пневмоцилиндр.

Зная наружный диаметр пружины и ее жесткость, по методике [2, т. 2] находим все ее параметры, а затем окончательно уточняем жесткость пружины, округляя полученное значение в бо́льшую сторону.

Пример. Определить жесткость и минимальную силу пружины пневмоцилиндра, необходимую для возвращения элементов схвата в исходное положение. $D_п$ = 100 мм, $d_ш$ = 25 мм.

Для обеспечения герметичности в сопряжении поршень – цилиндр в канавки поршня устанавливаем два кольцевых резиновых уплотнения круглого сечения. Согласно [2, т. 3] кольцевое уплотнение имеет параметры: d_3 = = 94 мм, d = 3,6 мм. Находим наружный диаметр кольцевого уплотнения

$$d_2 = d_3 + 2d = 94 + 2\cdot 3{,}6 = 101{,}2 \text{ (мм)}.$$

Высота канавки под уплотнение

$$H = \frac{D_п - d_3}{2} = \frac{100-94}{2} = 3 \text{ (мм)}.$$

Определяем относительную деформацию сжатия уплотнения из выражения (1):

$$\varepsilon = \frac{(d-H)}{d} \cdot 100\,\% = \frac{(3{,}6-3)}{3{,}6} \cdot 100\,\% = 16{,}7\,\%.$$

По графику рис. 1

$$p_к = 1{,}95 \text{ МПа} = 0{,}195 \text{ кг/см}^2.$$

Длина линии соприкосновения сечения уплотнения с корпусом цилиндра с учетом выражения (3)

$$l = 2r = 2\sqrt{d\Delta - \Delta^2} = 2\sqrt{3{,}6 \cdot 0{,}6 - 0{,}36} = 2{,}68 \text{ (мм)},$$

где $\Delta = \frac{d_2 - D_п}{2} = \frac{101{,}2-100}{2} = 0{,}6$ (мм).

Из выражения (4) находим площадь соприкосновения уплотнения с поверхностью цилиндра:

$$S_с = 2\sqrt{d\Delta - \Delta^2}\,\pi D_п = 2{,}68 \cdot 3{,}14 \cdot 100 = 842{,}55 \text{ (мм}^2) = $$
$$= 8{,}425 \text{ (см}^2).$$

Сила трения одного уплотнения о внутреннюю поверхность цилиндра

$$F_{тр} = p_к S_с f = 0{,}195 \cdot 8{,}425 \cdot 0{,}8 = 1{,}315 \text{ (кгс)},$$

где $f = 0{,}8$ – коэффициент трения при взаимодействии резины с чугунной поверхностью цилиндра без смазки.

Суммарная сила трения двух кольцевых уплотнений поршня о поверхность цилиндра $2F_{тр} = 2{,}63$ кгс.

По аналогии находим силу трения уплотнения о шток поршня. Выбираем кольцевое резиновое уплотнение круглого сечения: внутренний диаметр $d_1 = 26{,}5$ мм; диаметр сечения $d = 3{,}6$ мм.

Находим наружный диаметр уплотнения

$$d_2 = d_1 + 2d = 26{,}5 + 7{,}2 = 33{,}7 \text{ (мм)}.$$

Определяем выступающую над направляющей втулкой под шток часть уплотнения:

$$\Delta = \frac{d_1 - d_ш}{2} = \frac{26{,}5-25}{2} = 0{,}75 \text{ (мм)}.$$

Находим глубину канавки во втулке под уплотнение:

$$H = \frac{d_2 - d_ш}{2} = \frac{33{,}7-25}{2} = 3{,}1 \text{ (мм)}.$$

Рассчитываем относительную деформацию сжатия уплотнения из выражения (1):

$$\varepsilon = \left(\frac{d-H}{d}\right) \cdot 100\,\% = \frac{3{,}6-3{,}1}{3{,}6} = 13{,}9\,\%.$$

По графику рис. 1 находим контактное давление в уплотнении:

$$p_к = 1{,}39 \text{ МПа} = 0{,}139 \text{ (кг/см}^2).$$

Длина линии контакта сечения уплотнения со штоком согласно выражению (3)

$$l = 2r = 2\sqrt{d\Delta - \Delta^2} = 2\sqrt{3{,}6 \cdot 0{,}75 - 0{,}75^2} = 2{,}92 \text{ (мм)}.$$

Площадь соприкосновения уплотнения со штоком находим из выражения (4):

$$S_с = 2\sqrt{d\Delta - \Delta^2}\,\pi D_ш = 2{,}92 \cdot 3{,}14 \cdot 25 =$$
$$= 229{,}5 \text{ (мм}^2) = 2{,}295 \text{ (см}^2).$$

Сила трения уплотнения о шток

$$F_{тр} = p_к S_с f = 0{,}139 \cdot 2{,}295 \cdot 0{,}8 = 0{,}255 \text{ (кгс)}.$$

Суммарная сила сопротивления уплотнений поршня и штока

$$F_{тр\Sigma} = 2{,}630 + 0{,}255 = 2{,}885 \text{ (кгс)}.$$

Трение в подвижных шарнирах элементов схвата учтем через коэффициент запаса усилия $k = 1{,}1$.

Следовательно, минимальная сила пружины, которая должна преодолеть суммарное сопротивление элементов схвата, равна силе предварительного поджатия пружины при установке ее в пневмоцилиндр:

$$F_п = kF_{тр\Sigma} = 2{,}885 \cdot 1{,}1 = 3{,}17 \text{ (кгс)}.$$

Округляем ее до $F_п = 3{,}2$ (кгс).

Найдем жесткость пружины

$$C = \frac{F_п}{S_п} = \frac{3{,}2}{1{,}5} = 2{,}13 \text{ (кг/см)}.$$

Выбираем $C = 2{,}2$ (кг/см).

Таким образом, обоснована методика определения параметров пружины для возвращения механизма схвата в исходное положение.

Библиографический список

1. **Уплотнения** и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кодаков, А.И. Голубев и др. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.

2. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т. 1. М.: Машиностроение, 2001. 920 с.

УДК. 621.9.048.6

В.Ф. Казанцев, *д-р физ.-мат. наук,* **В.М. Приходько,** *д-р техн. наук, член-корр. РАН,*
Р.И. Нигметзянов, Д.С. Фатюхин, *канд-ты техн. наук,* **С.К. Сундуков**
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))
E-mail: lefmo@ya.ru

Влияние ультразвуковых радиальных колебаний на процесс разборки гладких соединений

Рассмотрена возможность применения радиальных ультразвуковых колебаний при разборке гладких соединений деталей машин. Предложена конструкция ультразвуковой колебательной системы для возбуждения радиальных колебаний в соединении вал – втулка. Приведен расчет основных акустических и технологических параметров процесса.

The article is devoted to the problem of application of radial ultrasound vibration for process of disassembling of join machine parts. The construction of ultrasonic oscillatory system for excitation of radial vibrations in connection a shaft – the cartridge is offered. Calculation of the basic acoustic and technological parameters of process is given.

Ключевые слова: ультразвук, разборка, вал – втулка, амплитуда, радиальные колебания, трение.

Key words: ultrasonic, disassembling, shaft – the cartridge, amplitude, radial vibrations, friction.

Разборочные операции имеют огромное значение в общем комплексе авторемонтного производства, поскольку составляют 12...13 % общего объема работ капитального ремонта автомобилей [1]. При правильно организованном процессе разборки до 60...70 % деталей остаются годными для повторного использования. Это обстоятельство подчеркивает экономическую значимость разборки.

Первоочередная мера для снижения доли брака от неправильной разборки – совершенствование ее технологии, особенно при разборке прецизионных деталей, например, деталей топливной аппаратуры, сохранность которых является решающим экономическим фактором при организации ремонта соответствующих изделий.

При создании новых и интенсификации известных методов и средств технологии разборки огромную роль играет процесс вибрации. Вибрационные машины и устройства позволили в последние годы обеспечить значительный технико-экономический эффект процесса разборки [2].

Высокая скорость ультразвуковой разборки и ее нейтральность по отношению к состоянию поверхностей связаны с тем, что при наличии высокочастотных колебательных перемещений деталей друг относительно друга изменяется характер силы трения сцепления. Сила сухого трения приобретает особенности, характерные при наличии "третьего тела", т.е. некого проявления смазывания поверхностей разбираемого соединения, получившего название "квазивязкого" трения.

Анализ процессов, протекающих при ультразвуковой разборке прецизионных узлов топливной аппаратуры, выполнен на примере соединения типа "вал–втулка", при этом корпус распылителя соответствовал втулке, а игла – валу. Наибольшее распространение получила схема разборки гладкой коаксиальной пары при возбуждении продольных колебаний [2, 3]. Рассмотрим другой вариант демонтажа, в котором ультразвуковое воздействие осуществляется с помощью радиальных колебаний.

На основе проведенных экспериментальных исследований разработана установка, структурная схема которой представлена на рис. 1 (см. 3-ю с. обложки).

Радиальные колебания в гладкой коаксиальной паре возбуждаются с помощью дискового концентратора радиальных колебаний, содержащего три стержневых магнитострикционных преобразователя. Электрическое напряжение на

них подается от генератора. Для поддержания заданного режима на внешней цилиндрической поверхности диска расположен датчик обратной связи, напряжение с которого подается на вход компьютера. В результате обработки поступающей информации с выхода компьютера на вход генератора поступает управляющий сигнал.

Для получения максимальных амплитуд ультразвуковых колебаний система, состоящая из коаксиальной пары и дискового концентратора (рис. 2, см. 3-ю с. обложки), должна работать в режиме резонанса, т.е. частота возбуждения ультразвуковых колебаний должна соответствовать резонансной частоте как системы радиальных колебаний, так и магнитострикционных преобразователей. При конструировании колебательной системы резонансная частота последних и размеры коаксиальной пары заданы. Таким образом, задачей конструирования является определение резонансных размеров дискового концентратора.

Проанализируем характер радиальных колебаний в дисковом концентраторе.

В окончательном виде для однородного кольца, толщина которого h = const, это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \xi_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \xi_r}{\partial r} - \frac{1}{r^2}\xi_r - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \xi_r}{\partial t^2} = 0, \qquad (1)$$

где ξ_r – мгновенное смещение при радиальных колебаниях диска (кольца);

c – скорость звука;

r – радиус коаксиальной пары;

t – время.

Предполагаем гармоническое возбуждение с частотой $\omega = 2\pi f$; $\xi_r(r, t) = \xi_m(r)e^{i\omega t}$, где f – частота ультразвуковых колебаний; e – экспонента; i – мнимая единица.

Для амплитуды радиальных колебаний $\xi_m(r)$ получим однородное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2 \xi_r}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\xi_m}{dr} + \left(k^2 - \frac{1}{r^2}\right)\xi_m = 0, \qquad (2)$$

где $k = \sqrt{\dfrac{\rho(1-\nu^2)}{E}}$;

ρ – плотность материала;

E – модуль Юнга;

ν – коэффициент Пуассона.

Общее решение однородного уравнения имеет вид

$$\xi_m(r) = AJ_1(kr) + BN_1(kr), \qquad (3)$$

где $J_1(kr)$ и $N_1(kr)$ – функции Бесселя и Неймана первого порядка;

A и B – произвольные постоянные, определяемые из граничных условий.

Запишем граничные условия на внешней и внутренней поверхности дискового концентратора в виде кольца. Предположим, что внешняя кольцевая поверхность с радиусом r_2 свободна и радиальные напряжения равны нулю:

$$\sigma_{rr}(r_2) = 0, \qquad (4)$$

а внутренняя поверхность кольца с радиусом r_1 нагружена на среду с импедансом $z_н$ (удельная акустическая нагрузка) и, следовательно, граничное условие для нее

$$\sigma_{rr}(r_1) = i\omega\xi_r(r_1)z_н. \qquad (5)$$

Для обоих случаев найдем радиальные напряжения по формуле

$$\sigma_{rr} = \frac{E}{1-\nu^2}\left[\frac{d\xi_m}{dr} + \nu\frac{\xi_m}{r}\right]. \qquad (6)$$

Подставляя это выражение в граничные условия (3), (4), получим:

при $r = r_1$

$$\frac{d\xi_m}{dr} + \left(\frac{\nu}{r} - i\frac{(1-\nu^2)\omega}{E}z_н\right)\xi_m = 0; \qquad (7)$$

при $r = r_2$

$$\frac{d\xi_m}{dr} + \nu\frac{\xi_m}{r} = 0, \qquad (8)$$

а затем, подставив (3) в (7) и (8), запишем систему двух однородных уравнений относительно A и B:

$$A\left[J_0(kr_1) + \left(\frac{\nu-1}{kr_1} - \gamma\right)J_1(kr_1)\right] + \\ + B\left[N_0(kr_1) + \left(\frac{\nu-1}{kr_1} - \gamma\right)N_1(kr_1)\right] = 0; \qquad (9)$$

$$A\left[J_0(kr_2)+\frac{\nu-1}{kr_2}J_1(kr_2)\right]+ \\ +B\left[N_0(kr_2)+\frac{\nu-1}{kr_2}N_1(kr_2)\right]=0, \quad (10)$$

где

$$\gamma = i\frac{(1-\nu^2)\omega}{Ek}z_н. \quad (11)$$

Как известно, существование решения определяется из условия равенства нулю определителя системы этих уравнений:

$$J_0(kr_1)+\left(\frac{\nu-1}{kr_1}-\gamma\right)J_1(kr_1)- \\ -\tilde{\omega}(kr_1)\left[N_0(kr_1)+\left(\frac{\nu-1}{kr_1}-\gamma\right)N_1(kr_1)\right]=0, \quad (12)$$

где

$$\tilde{\omega}(kr)=\frac{krJ_0(kr)-(1-\nu)J_1(kr)}{krN_0(kr)-(1-\nu)N_1(kr)}. \quad (13)$$

График функции $\tilde{\omega}(kr)$ приведен на рис. 3.

Таким образом, если известны радиус коаксиальной пары r_1 и входной импеданс на этой границе $z_н$, может быть найдено значение kr_2, а при известных частоте и скорости звука – радиус r_2.

Предположим, что в коаксиальной паре также возбуждаются радиальные колебания и модель этой системы может быть представлена в виде диска радиусом r_1. Импеданс на внешней кольцевой поверхности коаксиальной пары может быть найден по формуле (4). Однако необходимо учитывать, что для диска решение имеет вид:

$$\xi_m(r)=AJ_1(kr). \quad (14)$$

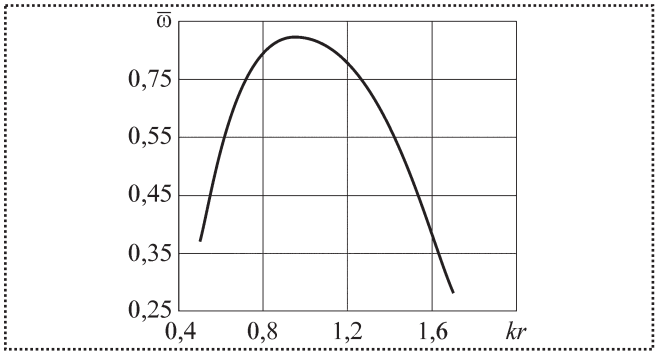


Рис. 3. Вид функции $\tilde{\omega}(kr)$ при изменении $0 < \tilde{\omega}(kr) < 2$

Постоянная B должна быть равна нулю, поскольку амплитуда колебаний всюду ограничена, в том числе при $r = 0$, а, как известно, функция Неймана в этой точке имеет особенность: $N_1(r) \to \infty$ при $r \to 0$. Подставив полученное решение в формулу (9), находим

$$\gamma=\frac{J_0(kr_1)}{J_1(kr_1)}-\frac{1-\nu}{kr_1} \quad (15)$$

– приближенное выражение для определения резонансной частоты системы "коаксиальная пара – дисковый концентратор".

Приведенная выше методика требует достаточно сложных и громоздких вычислений. Можно предложить упрощенный метод расчета, который позволяет вычислить резонансные размеры с достаточной для практики точностью. Предположим, что физические характеристики среды коаксиальной пары и дискового концентратора одинаковы. В этом случае всю систему можно рассматривать как диск радиусом r_2. Найдем для него условие резонанса радиальных колебаний. Предполагая, что внешняя кольцевая поверхность свободна (4), получим характеристическое уравнение:

$$k_n r_2 J_0(k_n r_2)-(1-\nu)J_1(k_n r_2)=0, \quad (16)$$

где $k_n r_2 = \mu_n$ – корень характеристического уравнения.

Решение этого трансцендентного уравнения при $\nu = 0{,}3$ дает следующие значения корней: $\mu_n = 2{,}049$; $\mu_n = 5{,}39$ и т.д. Таким образом, внешний радиус при заданной частоте радиальных колебаний диска определяется по формуле

$$r_2=\frac{\mu_n}{2\pi f}\sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}. \quad (17)$$

На рис. 4 приведена схема разборки коаксиальных соединений при возбуждении в них радиальных колебаний. Магнитострикционные преобразователи *2* с помощью скобы *1* прижимаются к внешней поверхности охватывающей детали, вследствие чего в системе "вал – втулка" возбуждаются радиальные колебания.

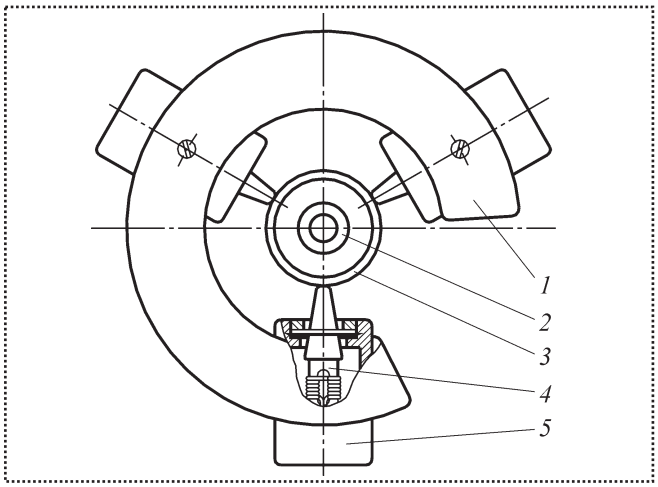


Рис. 4. Ультразвуковая колебательная система для возбуждения радиальных колебаний в соединении вал – втулка:
1 – скоба;
2 – извлекаемая деталь;
3 – охватывающая деталь;
4 – магнитострикционный преобразователь;
5 – корпус преобразователя

Как было установлено, для разборки необходимо, чтобы на внутреннюю деталь соединения действовала сила с постоянной во времени составляющей. Такой силой является сила тяжести, а при разборке в жидкой технологической среде к ней добавляются силы гидродинамического происхождения. При слабом механическом натяге ультразвуковые колебания практически не передаются от внешней детали на извлекаемую внутреннюю деталь, поэтому при расчетах можно полагать, что амплитуда колебаний на внешней поверхности извлекаемой детали отсутствует, в то время как на внутренней цилиндрической поверхности втулки она постоянна и равна ξ_{rm}.

Предположим, что величина механического натяга $\xi_0 < \xi_{rm}$. В этом случае в определенные промежутки времени на границе "вал – втулка" физический контакт будет полностью отсутствовать и, следовательно, сила трения на границе равна нулю. Значит, извлекаемая внутренняя деталь массой m под действием приложенной силы F_0 будет перемещаться вдоль оси системы. Величину перемещения можно рассчитать, если известен промежуток времени t_0, в течение которого контакт между деталями отсутствует:

$$t_0 = T - 2\tau_0,$$

где $T = \dfrac{1}{f}$;

$$\tau_0 = \frac{1}{\pi f}\arccos\left(\frac{\xi_0}{\xi_{rm}} - 1\right). \qquad (18)$$

В течение этого времени извлекаемая внутренняя деталь сместится на величину

$$s = \frac{a t_0^2}{2}, \qquad (19)$$

где $a = F_0/m$.

Таким образом, за один период произойдет относительное смещение деталей на величину

$$s = \frac{F_0}{\pi^2 m f^2}\left[\pi - \arccos\left(\frac{\xi_0}{\xi_{rm}} - 1\right)\right]^2. \qquad (20)$$

Отсюда можно вычислить среднюю скорость перемещения разбираемой детали:

$$\mathrm{v} = \frac{F_0}{\pi^2 m f}\left[\pi - \arccos\left(\frac{\xi_0}{\xi_{rm}} - 1\right)\right]^2. \qquad (21)$$

Из формулы следует, что при $\xi_0 = \xi_{rm}$ скорость равна нулю. Значит, должна существовать критическая амплитуда ультразвуковых колебаний, ниже которой ультразвук не будет оказывать никакого воздействия, а с увеличением амплитуды скорость разборки будет возрастать.

Вывод

Проведенные исследования выявили возможности повышения эффективности способа ультразвуковой разборки соединений деталей, не допускающих воздействия на всю поверхность интенсивных динамических нагрузок. Любая сопряженная пара деталей является гетерогенной системой, в которой при правильно выбранном внешнем механическом воздействии могут создаваться разностные межэлементные силовые реакции, приводящие к дезинтеграции, или, иными словами, к разборочным перемещениям в системе.

Библиографический список

1. **Мотилевич М.В.** Управление авторемонтным производством. М.: Транспорт, 1986. 20 с.

2. **Приходько В.М.** Ультразвуковая обработка. М.: МГАДИ(ТУ). 1995. 94 с.

3. **Приходько В.М.** Ультразвуковые технологии при производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники. М.: Изд-во "Техполиграфцентр", 2003. 253 с.

УДК 004.415.2

Т.О. Русяева *(Оренбургский государственный аграрный университет)*
E-mail: tovol@rambler.ru

Программа оптимизации материальных потоков на производственных участках механосборочного производства*

Предлагаемая программа позволит на этапе проектирования обеспечить повышение производительности труда и экономичности производства, снижение трудоемкости. Программа предназначена для моделирования и оптимизации механосборочного производства, может быть применена в условиях цеха и не требует высокой квалификации исполнителя.

This article is devoted to the description of the material flow optimization programme in mechanical assembly production. The use of this program while planning and modeling would provide for the productivity and efficiency increase, and the labor input decrease. Besides, this programme, which is intended for the modeling and optimization of mechanical assembly production, could be used in various working conditions and requires no special qualification of the operating staff.

Ключевые слова: программа, организация производственного процесса, планировка, моделирование, оптимизация.

Key words: program, the production organisation, planning, modelling, optimization.

В условиях реконструкции или проектирования производства возникает необходимость размещения (планировки) основного и вспомогательного оборудования цеха. Процесс планировки – длительный и трудоемкий, поскольку необходимо выполнить разнородные проектные работы и согласовать действия нескольких проектировщиков [1].

Формирование оптимальной схемы расположения технологического оборудования возможно с использованием критерия оптимизации материальных потоков производственного подразделения. В этом случае задача размещения оборудования сводится к решению задачи коммивояжера, часто возникающей на практике. Она может быть сформулирована следующим образом: для некоторой группы городов с заданными расстояниями между ними требуется найти кратчайший маршрут с посещением каждого из них один раз и с возвращением в исходную точку. Доказано, что эта задача принадлежит большому множеству задач, называемых "NP-полными" (недетерминистски полиномиальными), для которых лучший метод решения – полный перебор всех возможных вариантов. Так как полный поиск практически неосуществим для большого количества городов, то для нахождения приемлемых, хотя и неоптимальных решений используются эвристические методы [2].

Для решения задачи разработана программа автоматизации проектирования технологических планировок предприятий, основанная на алгоритме перестановок методом факторадика.

На рис. 1 показана графовая модель производственного участка, где вершины графа – станки, ребра – транспортные маршруты. Расстояние между вершинами графа

$$AB = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \qquad (1)$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы", проект № 3596 "Применение эволюционных методов оптимизации в параметрическом синтезе гибких производственных систем".

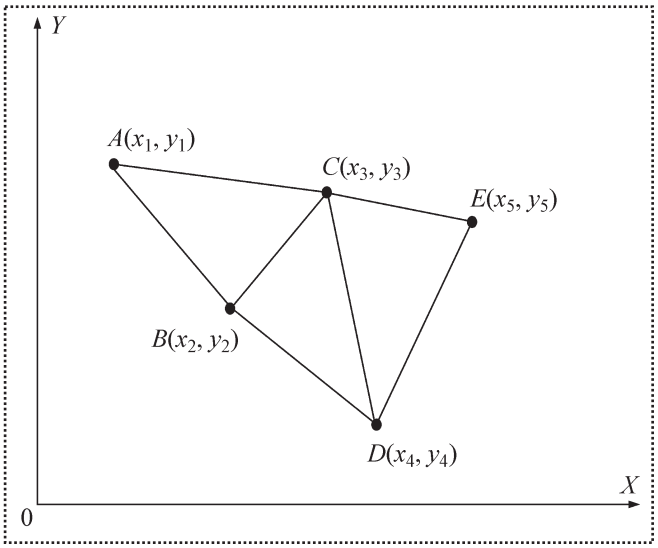


Рис. 1. Графовая модель производственного участка

Особенность решения состоит в том, что необходимо выразить транспортные пути через координаты оборудования на схеме планировки и выбрать суммарные кратчайшие пути перемещения.

Постановка задачи коммивояжера формулируется следующим образом.

Имеется набор городов T, пронумерованных числами $T = (1, 2, 3, ..., n)$. Тур коммивояжера может быть описан циклической перестановкой $t = (j_1, j_2, ..., j_n, j_1)$ [3]. Расстояния между парами вершин C_{ij} образуют матрицу C. Расстояния должны быть неотрицательными, т.е. для всех

$$C_{ij} > 0; \;\; C_{ij} = 0, \qquad (2)$$

что означает запрет на петли в туре, и удовлетворять неравенству треугольника, т.е. для всех

$$C_{ij} + C_{jk} = C_{ik}. \qquad (3)$$

Задача состоит в нахождении тура t, минимизирующего функционал

$$F = \sum_{k=1}^{n-1} C_{k_{k+1}} + C_{n1}. \qquad (4)$$

Различают два варианта задачи коммивояжера: симметричную, когда для всех i, j

$$C_{ij} = C_{ji}, \qquad (5)$$

и несимметричную – в противном случае (например, если C_{ij} – не расстояние, а плата за проезд: часто билеты "туда" и "обратно" имеют разную стоимость).

Программа автоматизации проектирования технологических планировок предприятий Optimal_Path позволяет проводить выявление, сортировку и выборку вариантов обхода оборудования, выбор минимального пути и построение гистограммы распределения длительности транспортных операций.

Возможные варианты обхода оборудования выявляются с использованием факторадика и проверки на их попадание в диапазон установленных параметров. В данной программе для сокращения вариантов обхода оборудования задается шаг, позволяющий просмотреть весь диапазон возможных перестановок за приемлемое время.

Этапы обработки данных программы автоматизации проектирования технологических планировок предприятий:

- выявление возможных вариантов обхода оборудования;
- статистическая обработка выбранных маршрутов;
- построение диаграммы вероятности распределения вариантов обхода оборудования, диаграммы распределения и кривой накопленной вероятности.

Алгоритм программы, который напрямую рассчитывает нужный элемент перестановки, представлен на рис. 2. В его основе лежит точное математическое построение – факторадик, т.е. альтернативное представление целого числа. Сначала вычисляется факторадик нужного значения индекса, а затем это значение преобразовывается в элемент перестановки [4].

Главное окно программы представлено на рис. 3. Возможен выбор условия вариантов об-

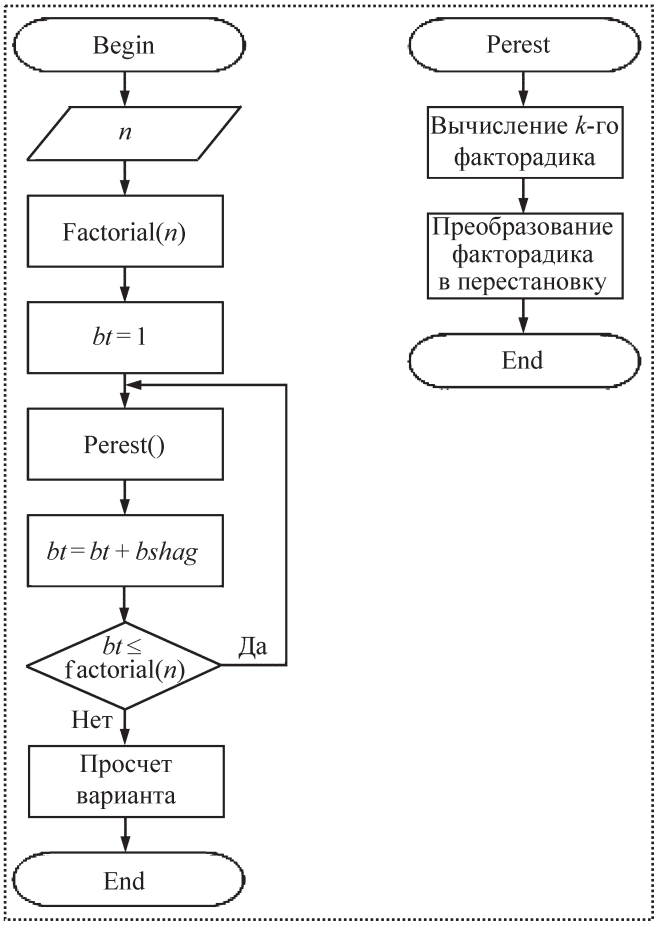


Рис. 2. Алгоритм решения задачи коммивояжера с помощью факторадика:
n – число станков; *bt* – номер перестановки; *bshag* – шаг; factorial – функция вычисления факториала; perest – функция формирования перестановки

хода оборудования, задаваемого по отдельной форме.

Окно статистики вариантов обхода представлено на рис. 4. На первой диаграмме представлены вероятности распределения вариантов обхода оборудования, на второй – вероятности распределения. Показана также кривая накопленной вероятности.

Рассмотрим работу программы на примере участка изготовления детали – штока. Данные о станках приведены в табл. 1, матрицы транспортных связей и расстояний между станками – в табл. 2 и 3, варианты обхода рабочих мест – в табл. 4.

Как видно, минимальный маршрут *s* получен для схемы № 4 (см. табл. 4).

Критерием при выборе оптимальной схемы расположения технологического оборудования принимается минимум мощности грузопотока или материального потока, которые представляют собой схему движения предметов труда в соответствии с последовательностью производственного процесса. С организацией материальных потоков связано от 10 до 60 % (а иногда и до 80 %) затрат на изготовление конечного изделия.

Организация оптимальных грузопотоков включает в себя решение таких задач, как сокращение общей длины транспортных путей, пересечений и разветвлений, исключение транспортных петель и возвратных трасс, уменьшение простоев и улучшение управления производством, обеспечение ремонтопригодности транспортных средств. Это приводит к снижению капитальных, эксплуатационных и энергетических затрат [5].

Программу построения схем расположения технологического оборудования на предметных участках можно использовать при проектиро-

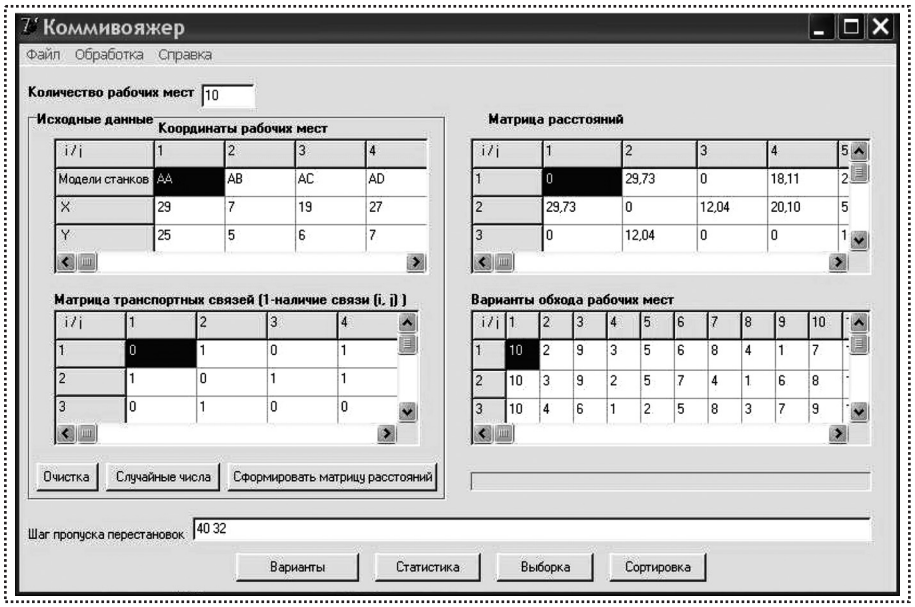


Рис. 3. Главное окно программы

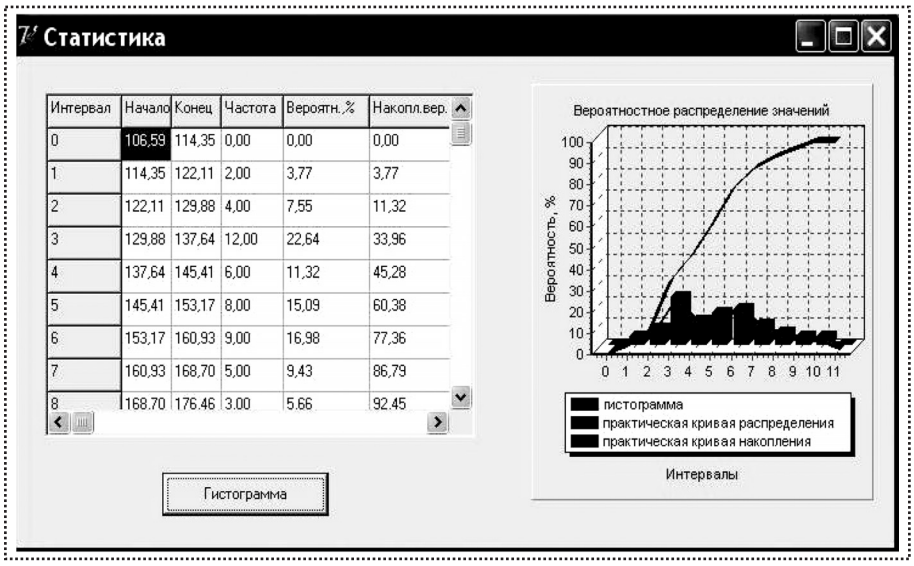


Рис. 4. Экранная форма статистики выбранных вариантов путей

вании гибких автоматических участков, их эксплуатации за счет перемонтажа станков при изменении номенклатуры изделий, обеспечивая тем самым планировочную гибкость производства.

Организации-проектировщики и технологические отделы машиностроительных предприятий могут использовать программу для проектирования производственных участков, а также при реструктуризации, техническом перевоору-

Таблица 1

Данные о станках

Номер	Модель	Координаты	
		X	У
1	2Н125	0	0
2	8Г661	5	0
3	МР-78	10	0
4	16К30	15	0
5	16К30Ф3	0	4
6	2Н125	7.5	4
7	6Р13Б	15	4
8	3М193	0	9
9	3М193	5	9
10	3М193	10	9
11	3М193	15	9

Таблица 2

Матрица транспортных связей (1 – наличие связи *i*/*j*)

i/*j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
2	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
8	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
9	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
11	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0

Таблица 3

Матрица расстояний между станками

i/*j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	5	10	15	4	0	15,52	9	0	13,45	17,49
2	5	0	5	10	0	4,72	0	10,3	0	0	13,45
3	10	0	0	5	10,77	4,72	6,4	13,45	10,3	9	10,3
4	15	10	5	0	15,52	8,5	4	17,49	13,45	10,30	9

Окончание табл. 3

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	4	6,4	0	0	0	7,5	0	0	0	11,18	15,81
6	8,5	4,72	4,72	8,5	7,5	0	7,5	0	5,59	0	0
7	15,52	10,77	6,4	4	15	7,5	0	15,81	0	7,07	5
8	9	10,3	0	17,49	5	9,01	15,81	0	5,59	0	0
9	0	0	10,30	13,45	7,07	5,59	11,18	0	0	0	10
10	13,45	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
11	17,49	13,45	0	9	15,81	0	5	15	10	5	0

Таблица 4

Варианты обхода рабочих мест в программе Optimal_Path

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	*s*, м
1	11	1	2	3	4	5	6	7	8	10	9	98,8
2	3	5	11	1	2	4	7	8	10	9	6	98,51
3	5	10	11	1	2	3	7	8	4	6	9	98,91
4	7	10	11	1	2	3	8	5	6	4	9	85,19

жении или реконструкции существующего производства.

Программа позволяет повысить надежность, достоверность и оперативность решения задачи, уменьшить трудоемкость работы по подбору оптимальных вариантов размещения оборудования и их статистической обработки.

Библиографический список

1. **Ковшов А., Димитрюк С.** Система автоматизации проектирования технологических планировок предприятий на основе комплекса T-FLEX // САПР и графика. 2002. № 8.
2. **Куликов Д.Д.** Генетический алгоритм обучения нейронной сети для решения задачи коммивояжера. Известия ТРТУ, Таганрог, 2001. Т. 22. № 4. С. 352–353.
3. **Левитин А.В.** Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. Пер. с англ. С.Г. Тригуб. Киев: Вильямс, 2006. 576 с.
4. **МакКэффри Джеймс.** Перестановки строк // MSDN magazine, 2006. № 2.
5. **Мельников Г.Н., Вороненко В.П.** Проектирование механосборочных цехов: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Под ред. А.М. Дальского. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА: справочник

И.Х. Стратиевский, В.Г. Юрьев, Ю.М. Зубарев

2010 г. 352 с. : ил. ISBN 978-5-94275-522-5 **Цена 700 р.**

Содержит данные об основных видах современных абразивных инструментов, выборе их характеристик и подготовке к эксплуатации. Для наиболее распространенных способов абразивной обработки приведены рекомендации по режимным параметрам, применяемому оборудованию и технологической оснастке, смазывающим технологическим средствам, оценке эксплуатационных свойств инструментов. Учтены изменения в стандартах, произошедшие в последние годы.

Предназначен для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, конструкторов и технологов, студентов и преподавателей высшего и среднего профессионального образования.

107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98
и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.791.754 293: 669.14:669.7:621.793

А.И. Ковтунов, Т.В. Чермашенцева, *канд-ты техн. наук,* **В.В. Гладуняк,**
инж. (Тольяттинский государственный университет)
E-mail: tatyana717@mail.ru

Исследование процессов аргонодуговой сварки сталей, покрытых алюминием, с медной присадочной проволокой

Основной проблемой при сварке плавлением сталей, покрытых алюминием, является замешивание алюминия из покрытия в сварочную ванну, что значительно снижает механические свойства металла шва. С целью повышения прочностных и пластических характеристик сварных соединений таких сталей предложено вводить в сварочную ванну медную присадочную проволоку, поскольку медь обладает достаточно высокими пластическими характеристиками, а при легировании в процессе сварки алюминием и железом повышаются прочностные характеристики металла шва. В статье исследованы процессы аргонодуговой сварки с медной присадочной проволокой сталей, покрытых алюминием, и получены зависимости химического состава металла шва и механических свойств от режимов сварки.

The basic problem at welding by fusion of the steels covered with aluminum is kneading aluminum from the covering to molten metal that considerably reduces mechanical properties of weld metal. It was offered to enter copper filler wire into molten metal for increasing of strength and ductility of welded joint. The copper possesses high enough ductility and alloying of copper in the course of welding by aluminum and iron will raise weld metal strength. The processes argon-arc welding with copper filler wire of the steels covered with aluminum are investigated and dependences of chemical compound and mechanical properties of weld metal on welding modes are received in article.

Ключевые слова: сталь, покрытая алюминием, медь, присадочная проволока, аргонодуговая сварка, прочность металла шва.

Key word: steel covered with aluminum, copper, filler wire, argon-arc welding, strength of weld metal.

Сталь с покрытием из алюминия и алюминиевых сплавов представляет практический интерес как материал, сочетающий в себе высокие эксплуатационные и механические свойства: коррозионную стойкость, жаро-, окалиностойкость, прочность, твердость и т.д. [1]. Широкое распространение получила сталь с двусторонним алюмокремниевым покрытием. Однако при сварке такой стали происходит замешивание алюминия и его оксида из покрытия в сварочную ванну, что приводит к формированию соединения с очень низкими прочностными и пластическими свойствами.

Рафинирование сварочной ванны от алюминия в процессе сварки позволяет повысить механические свойства металла шва [2], однако это в значительной мере увеличивает трудоемкость процесса изготовления конструкций из таких сталей. Кроме того, после сварки возникает необходимость нанесения алюминиевого покрытия на зону сварного соединения для придания ему необходимых эксплуатационных свойств, что в ряде случаев практически невозможно реализовать с обратной стороны сварного соединения.

Для снижения трудоемкости сварки сталей с алюминиевым покрытием и повышения механических и эксплуатационных свойств металла шва было предложено вводить в сварочную ванну медную проволоку. Медь с железом образует систему, не имеющую интерметаллидных соединений [3, 4]. При легировании железом структура меди измельчается, что повышает ее прочностные свойства. Наряду с легированием железом, легирование медных сплавов алюминием улучшает их прочностные характеристики [5]. Кроме того, медь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях [6], что позволяет не создавать дополнительно защитное покрытие на сварном шве.

Процессы аргонодуговой сварки исследовали на пластинах из стали толщиной 0,6 мм с покрытием из алюминиево-кремниевого сплава (с содержанием кремния 5–7 масс. %) толщиной 20 мкм. Сварку проводили с использованием источника Migatronic в среде аргона сварочной проволокой из меди М1 диаметром 0,8 мм. Напряжение составляло 10–18 В, скорость сварки – 0,22–0,27 м/мин, скорость подачи проволоки – 4–4,6 м/мин, зазор между пластинами – 0,3–0,6 мм.

Структуру и элементный состав металла сварного соединения изучали с помощью метода растровой электронной микроскопии на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500.

Твердость металла шва определяли в его поперечном сечении с помощью твердомера HBRV-187.5, прочностные и пластические характеристики – испытаниями на статические растяжение и изгиб по ГОСТ 6996–66, которые проводили на плоских образцах размером 200×15 мм.

Результаты исследований обрабатывали методом построения линейных зависимостей контролируемых параметров от режимов сварки на основе полного четырехфакторного эксперимента. К исследуемым факторам относятся напряжение дуги, скорость подачи присадочной проволоки, скорость сварки, зазор в стыке. Для каждого фактора назначали уровень и шаг варьирования, затем составляли план четырехфакторного эксперимента. Каждый опыт плана выполняли дважды, а потом оценивали однородность дисперсий и дисперсию воспроизводимости, определяли коэффициенты уравнений составляемой модели и ее адекватность.

Как показали исследования, при сварке с медной присадочной проволокой стали с алюминиевым покрытием в изучаемом диапазоне режимов формируется мелкочешуйчатый шов, равномерный по толщине. Зависимости размеров шва от режимов и параметров сварки можно описать следующими уравнениями:

$$b_1 = 0{,}24U - 0{,}6v_{п.п.} - 0{,}1v_{св} + 0{,}1\delta + 8{,}5;$$

$$b_2 = 0{,}12U - 0{,}5v_{п.п.} - 0{,}17v_{св} + 0{,}1\delta + 7{,}7;$$

$$g_1 = -0{,}09U + 0{,}2v_{п.п.} - 0{,}13v_{св} - 0{,}13\delta + 1{,}3;$$

$$g_2 = -0{,}03U + 0{,}11v_{п.п.} - 0{,}16v_{св} - 0{,}1\delta + 0{,}8,$$

где U – напряжение дуги, В;

b_1, b_2 – ширина лицевой и обратной стороны шва, мм;

g_1, g_2 – высота выпуклости с лицевой и обратной стороны шва, мм;

δ – величина зазора между свариваемыми кромками, мм;

$v_{св}$, $v_{п.п.}$ – скорость сварки и подачи присадочной проволоки, м/мин.

Ширина шва изменяется от 8,2 до 10,5 мм с лицевой стороны и от 6,6 до 7,5 мм с обратной стороны шва при росте напряжения от 10 до 18 В. Высота выпуклости шва при этом уменьшается с 1,2 до 0,5 мм. Эти изменения обусловлены более высокой температурой перегрева медного расплава над линией ликвидус и, как следствие, более интенсивным процессом ее растекания по стали. С повышением расхода присадочной проволоки с 4 до 4,6 м/мин при напряжении 18 В высота выпуклости увеличивается с 1,11 до 1,25 мм (рис. 1, 2). Возрастание зазора между свариваемыми деталями незначительно уменьшает и лицевую, и обратную выпуклость шва и увеличивает ширину шва.

Металлографические исследования показывают, что во всем диапазоне исследуемых режимов формируется шов с однофазной структурой. Химический состав металла шва при этом соответствует раствору железа и алюминия в меди. Содержание алюминия и железа определяется режимами сварки и описывается уравнениями:

$$\%\mathrm{Al} = 0{,}05U - 0{,}1v_{п.п.} + 0{,}3v_{св} - 0{,}4\delta + 0{,}7;$$

$$\%\mathrm{Fe} = 0{,}12U - 0{,}2v_{п.п.} + v_{св} - 0{,}1\delta + 3{,}3.$$

Наиболее заметно влияние напряжения дуги и расхода присадочной проволоки. Увеличение

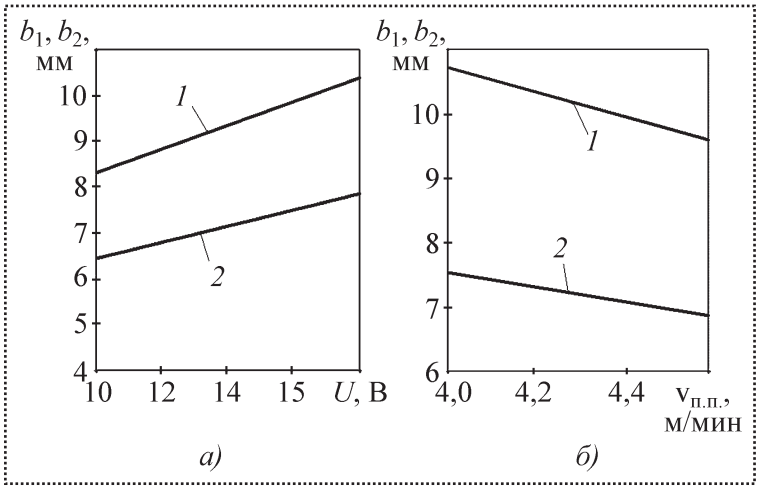


Рис. 1. Зависимости ширины лицевой (*1*) и обратной (*2*) сторон шва от напряжения дуги (*а*) при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин , $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм и скорости подачи присадочной проволоки (*б*) при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм

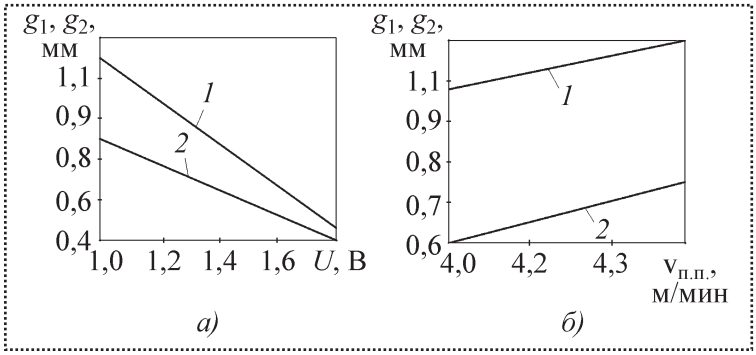


Рис. 2. Зависимости высоты выпуклости лицевой (*1*) и обратной (*2*) сторон шва от напряжения дуги (*а*) при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин , $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм и скорости подачи присадочной проволоки (*б*) при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм

напряжения приводит к росту содержания и алюминия (с 0,6 до 1 масс. %), и железа (с 3,3 до 4,3 масс. %). Повышение расхода присадочной проволоки с 1,2 до 1,4 г/с влечет за собой плавное снижение содержания железа (с 4,8 до 4,3 масс. %) и алюминия (с 1,1 до 1,03 масс. %) в металле шва. Уменьшение содержания алюминия и железа наблюдается и при увеличении зазора, что обусловлено сокращением площади расплавления свариваемых кромок (рис. 3, 4).

Увеличение содержания алюминия и железа в меди повышает ее твердость и прочность, что подтверждается результатами проведенных исследований. Зависимость твердости металла шва от режимов сварки описывается уравнением

$$HV = 3{,}5U - 9{,}1v_{п.п.} + 5{,}9v_{св} - 2{,}2\delta + 68{,}1.$$

Как видно из рис. 5, с ростом значений факторов, обуславливающих снижение содержания алюминия и железа в металле шва (расхода присадочной проволоки, зазора между свариваемыми кромками), твердость металла шва уменьшается, а при увеличении напряжении с 10 до 18 В она возрастает с 63 до 89 HV. Последнее вызвано повышением содержания алюминия практически вдвое, а железа – на 1 % (см. рис. 3, 4).

Испытания на статическое растяжение показали, что предел прочности металла шва составляет 330–390 МПа и определяется режимами сварки:

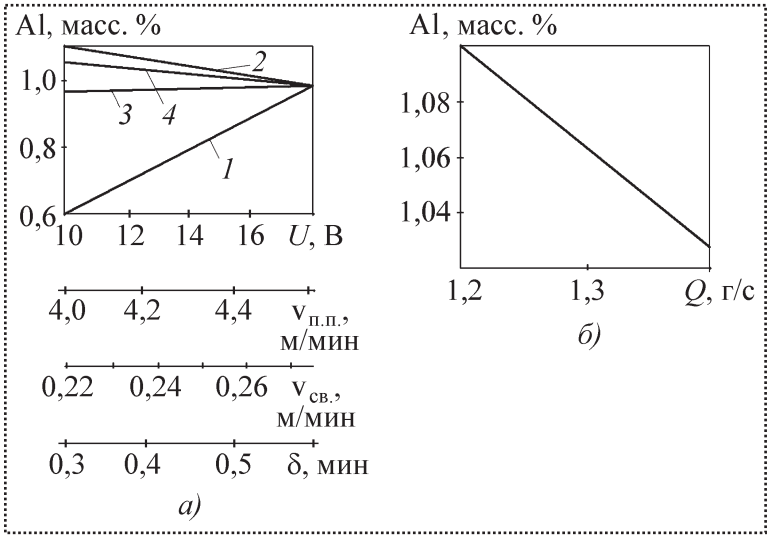


Рис. 3. Зависимости содержания алюминия:
а – от напряжения дуги при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*1*), скорости подачи присадочной проволоки при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*2*), скорости сварки при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = = 4,6 м/мин, δ = 0,6 мм (*3*), зазора между свариваемыми кромками при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = = 0,27 м/мин (*4*);
б – от расхода присадочной проволоки при *U* = 18 В, δ = 0,6 мм

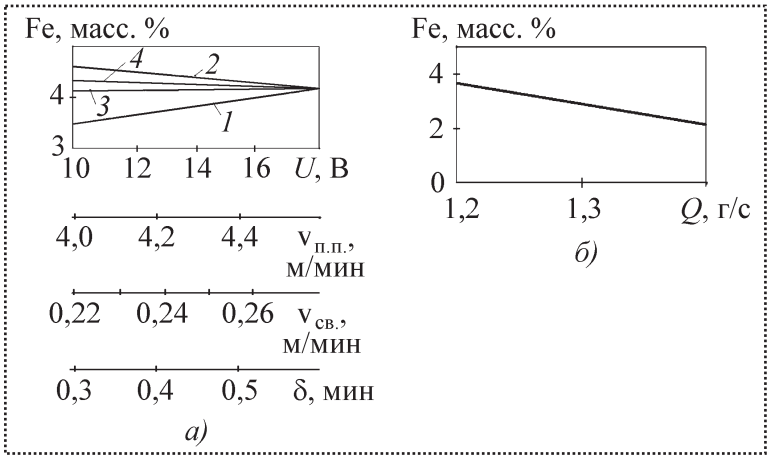


Рис. 4. Зависимости содержания железа:
а – от напряжения дуги при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*1*), скорости подачи присадочной проволоки при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*2*), скорости сварки при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = = 4,6 м/мин, δ = 0,6 мм (*3*), зазора между свариваемыми кромками при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = 0,27 м/мин (*4*);
б – от расхода присадочной проволоки при *U* = 18 В, δ = 0,6 мм

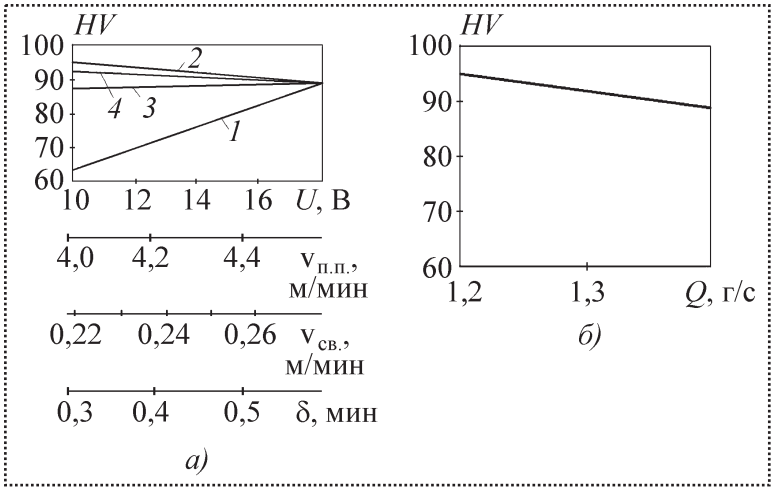


Рис. 5. Зависимости твердости металла шва:
а – от напряжения дуги при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = = 0,6 мм (*1*), скорости подачи присадочной проволоки при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*2*), скорости сварки при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = = 4,6 м/мин, δ = 0,6 мм (*3*), зазора между свариваемыми кромками при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = 0,27 м/мин (*4*);
б – от расхода присадочной проволоки при *U* = 18 В, δ = 0,6 мм

$$\sigma_{в} = 3{,}9U - 15{,}8v_{п.п.} + 21v_{св} - 2{,}4\delta + 372.$$

Увеличение содержания железа, вызванное изменением режимов сварки, как и содержания алюминия, положительно влияет на прочностные характеристики. Так, с повышением напряжения с 10 до 18 В предел прочности возрастает почти на 11 % (с 332 до 370 МПа), что связано с повышением содержания железа в металле шва до 4,2 % и алюминия – до 1 %, легирование которым повышает прочность меди [5]. Исходя из этого, увеличение расхода присадочной проволоки до 1,4 г/с при напряжении 18 В приводит к снижению предела прочности металла шва с 395 до 370 МПа, поскольку содержание алюминия уменьшается (рис. 6).

Как показали испытания на статический изгиб, угол загиба образцов составляет более 120°. Это указывает на то, что сварные соединения обладают высокими пластическими характеристиками.

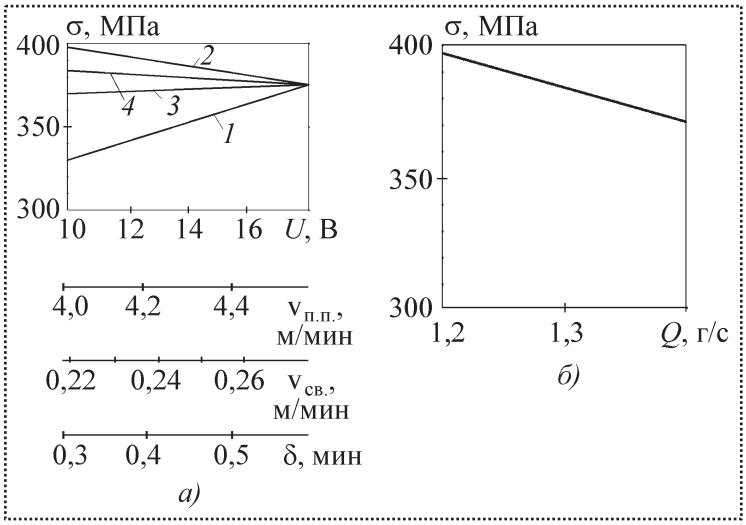


Рис. 6. Зависимости предела прочности:
а – от напряжения дуги при $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = = 0,27 м/мин, δ = 0,6 мм (*1*), скорости подачи присадочной проволоки при *U* = 18 В, $v_{св}$ = 0,27 м/мин, δ = = 0,6 мм (*2*), скорости сварки при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = = 4,6 м/мин, δ = 0,6 мм (*3*), зазора между свариваемыми кромками при *U* = 18 В, $v_{п.п.}$ = 4,6 м/мин, $v_{св}$ = = 0,27 м/мин (*4*);
б – от расхода присадочной проволоки при *U* = 18 В, δ = 0,6 мм

Выводы

При аргонодуговой сварке сталей с алюмокремниевым покрытием с применением медной проволоки формируется металл шва однофазной структуры (раствор алюминия и железа в меди) без интерметаллидных фаз.

Металл шва содержит 3,3–4,8 масс. % железа и 0,6–1,1 масс. % алюминия, что определяется режимами сварки и в большей степени зависит от напряжения дуги и расхода присадочной проволоки. Повышение напряжения в интервале 10–18 В приводит к увеличению почти в 1,5 раза содержания алюминия (с 0,6 до 1,1 масс. %) и более чем на 1 % железа (с 3,3 до 4,3 масс. %).

Прочность металла шва при аргонодуговой сварке с медной присадочной проволокой практически равна прочности основного металла и составляет 330–390 МПа. Твердость металла шва находится в пределах 62–94 HV. Увеличение содержания алюминия и железа в металле шва при аргонодуговой сварке стали с алюмокремниевым покрытием приводит к повышению твердости и предела прочности металла шва. При увеличении содержания алюминия от 0,6 до 1,0 % и железа от 3,3 до 4,3 % твердость металла шва возрастает с 62 до 94 HV, а предел прочности – с 332 до 370 МПа.

Библиографический список

1. **Рябов В.Р.** Применение биметаллических отливок. М.: Металлургия, 1978. 316 с.
2. **Чермашенцева Т.В., Ковтунов А.И.** Особенности сварки сталей, покрытых алюминием, в активных газовых средах // Сварочное производство. 2009. № 7. С. 3–6.
3. **Диаграммы** состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: справ. изд. / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. М.: Металлургия, 1986. 440 с.
4. **Кубашевски О.** Диаграммы состояния двойных систем на основе железа: пер. с англ. М.: Металлургия, 1985. 184 с.
5. **Колачев Б.А.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: МИСИС, 1999. 416 с.
6. **Рабкин Д.М., Рябов В.Р., Гуревич С.М.** Сварка разнородных металлов. Киев: Техніка, 1975. 207 с.

СПРАВОЧНИК СЛЕСАРЯ-МОНТАЖНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Серия справочников для рабочих

В.И. Голованов, П.П. Алексеенко, В.А. Калугин и др.

2010 г. 640 с. ISBN 978-5-94275-528-7 **Цена 1300 р.**

Изложены основы строительно-монтажного производства, система обеспечения безопасности при выполнении монтажных работ. Даны основы и практические рекомендации по эффективной деятельности монтажных предприятий и организаций в современных рыночных отношениях. Главное внимание обращено на вопросы технологической подготовки производства, методы осуществления основных монтажных работ, приемы выполнения слесарных, сборочных и вспомогательных работ и обеспечение их безопасного производства. Приведены сведения о составе и технологической структуре процессов и операций, выполняемых при монтаже оборудования промышленных предприятий. Представлены характеристики точности, технические характеристики инструмента, машин и приспособлений, используемых монтажниками. Рассмотрены вопросы испытания и ввода оборудования в эксплуатацию, а также организации оплаты труда в монтажных организациях.

По сравнению со вторым изданием содержание справочника значительно видоизменено, а объем увеличен. Введены новые главы: “Основы строительно-монтажного производства”, “Обеспечение безопасности при производстве строительно-монтажных работ”, “Нормирование и оплата труда монтажников”. Приведены новые виды инструментов и приспособлений и их характеристики. Дополнены отдельные главы и внесены изменения в технологию и процессы монтажа оборудования. Обновлена система стандартов и внесены соответствующие изменения в справочник.

Справочник предназначен для слесарей-монтажников промышленного и технологического оборудования, рабочих смежных специальностей, учащихся специальных учебных заведений, техникумов и колледжей.

107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98
и на сайте WWW.MASHIN.RU

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в 2010 году

№

Поздравления

Костюкову Владимиру Николаевичу – 60 лет..... 4

Московскому государственному технологическому университету "СТАНКИН" – 80 лет..... 4

Волгоградскому государственному техническому университету "ВолгГТУ" – 80 лет 5

Корниенко Владимиру Михайловичу – 70 лет..... 7

Нас поздравляют с юбилеем 8

Кафедре "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана – 80 лет 9

Экономика и организация сборочного производства

Быков С.Ю., Быков Ю.М. Повышение эффективности сборочного производства 2

Кокленков Д.А., Житников Ю.З. Разработка структурной схемы управления выбором изделия для дальнейшего изготовления, сборки и выпуска на малом предприятии 12

Якимович Б.А., Осетров В.Г., Суфияров Р.Ф. Оптимизация временных связей сборочного производства цеха 8

Технологичность конструкции

Базров Б.М., Савельева Л.В. Анализ конструкции редуктора заднего моста автомобиля методом графов 8

Божкова Л.В., Рябов В.Г., Норицина Г.И. Контактная задача для кольцевого слоя произвольной толщины с учетом сил трения в зоне контакта 6

Волков Г.Ю., Ратманов Э.В., Курасов Д.А., Колмаков С.В. Условия сборки планетарной передачи с двумя слоями сателлитов..... 10

Овчинников С.В. Конкурентоспособные технологии изготовления равнопрочного крепежа..... 6

Третьяков В.М. Конструирование изделий машиностроения. Определение координат узлов сопряжения 10

Сборочное оборудование и его элементы

Березин С.Я., Курбатова Л.С. Разработка резьбонарезных и сборочных патронов с переменной структурой компенсирующих механизмов 8

Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель и методика расчета производительности вертикального бункерного загрузочного устройства 9

Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Динамика перемещения планшайбы переналаживаемого поворотного стола со струйным приводом 5

Житников Б.Ю., Житников Ю.З. Обеспечение требуемой скорости срабатывания схвата при закреплении заготовки 9

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Определение предельных режимов срабатывания схвата робота-манипулятора 5

Кристаль М.Г., Стегачев Е.В., Волчков В.М., Татаринцев Д.Ю., Шишаева А.С. Компьютерное моделирование процесса захвата уплотнительных колец пневматическим захватным устройством..... 10

Крылов Е.Г., Плотников А.Л., Ханов Г.В., Дудкин Е.В., Великая А.О. Автоматизированный комплекс для оценки качества твердосплавных режущих пластин, комплектуемых в сборные многолезвийные инструменты 5

Матросова Ю.Н., Архипов Д.Л. Моделирование процесса функционирования и анализ работоспособности устройства для завинчивания шпилек..... 10

Моисеева Д.В., Емельяненко А.А., Полянчиков Ю.Н. Электромеханический инструмент для пригоночных работ: современное производство и рынок в России..... 1

Надеждин И.В. Характерные динамические модели исполнительных механизмов транспортно-загрузочного оборудования автоматизированных сборочных производств 4

Шишкарев М.П. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт 5

Современные технологии сборки

Белобородов С.М. Расчетно-эксцентриситетный метод сборки роторов 6

Белобородов С.М., Бурдюгов С.И. Обеспечение виброустойчивости валопровода методом прецизионной сборки 1

Божкова Л.В., Вартанов М.В., Бакена Мбуа Ж.К. Совершенствование технологии сборки цилиндрических профильных деталей с применением вибрационных колебаний и пассивной адаптации 7

Виноградов В.М., Шандров Б.В. Особенности технологии автоматизированной сборки кузовов и кабин автомобилей в современных условиях 7

Журавлев А.Н., Рыльцев И.К. Методика многопараметрической селекции структурно упорядоченной сборки буровых долот 3

Комаишко С.Г., Кулик Г.Н., Моисей М.В., Суздаль К.В., Тонконог А.Ю. Сборка реактора для проведения гидравлических испытаний 12

Макушин А.А. Особенности сборки автомобилей и узлов 5

Малышев Е.Н., Бысов С.А. Обоснование принятия решения о концентрации обработки и сборки на одном станке 11

Прилуцкий В.А. Повышение точности сборки подвижных цилиндрических соединений 5

Родионов Е.М., Табачкова К.И. Методы компенсации погрешностей при сборке оптических приборов 1, 6

Ряховский О.А., Иванов В.А. Сборка привода электромеханического клинового тормоза 3

Саблин П.А., Марьин Б.Н., Шпилёв А.М. Методика увязки размеров при сборке изделий сложных форм 4

Саблин П.А., Марьин Б.Н., Шпилёв А.М. Подготовка производства к сборке изделий сложной формы методом электронного описания 12

Семенов П.В., Цветков Ю.Б. Анализ точности базирования при совмещении слоев многослойных печатных плат 11

Сысоев С.Н., Еропова Е.В., Шапинская В.А. Исследование метода многократной коррекции при сопряжении изделия с рабочей поверхностью, ограниченной фиксаторами 12

Технологическая оснастка для сборки

Антонец И.В., Белов М.А. Динамометрические упругие элементы весоизмерительных устройств 9

Вычеров В.А., Маслов А.Р. Исследование термопатрона для сборки комплектов инструмента с концевыми фрезами 7

Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Особенности управления работой струйных поворотных устройств 3

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Расчет параметров схвата робота-манипулятора 2

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Расчет параметров элементов схвата 3

Кристаль М.Г., Лымарь К.В., Рыбников А.С., Стегачев Е.В., Широкий А.В. Вибрационный конвейер с двухкомпонентным приводом 7

Матросова Ю.Н., Андреев П.А. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования схвата робота-манипулятора в САПР "КОМПАС-3D" 9

Панов С.С., Мазеин П.Г., Смирнов В.А., Петрова Л.Н. Роботизированные сборочные стенды с техническим зрением и компьютерными системами управления 12

Трегубов А.В., Ладыгина О.М. Кольцевое наматывание тонкими проводами обмоток малогабаритных кольцевых магнитопроводов 7

Харькин О.С., Кристаль М.Г. Экспериментальные исследования струйных сортировочных устройств 3

Шишкарев М.П. Компоновка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения 7

Шишкарев М.П. Показатели адаптивной фрикционной муфты с бифункциональным управляющим устройством 12

Штенников В.Н. Сопоставление конвейерных и камерных печей для конвекционной пайки электронных компонентов 7

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Штенников В.Н. Влияние заточки паяльного стержня на температуру контактной пайки 10

Штенников В.Н. Зависимость температуры пайки от длины паяльного стержня 1

Штенников В.Н. Предложения по уточнению редакции перевода и содержания Международного стандарта IEC (МЭК) 61192-1 "Процесс пайки"..... 2

Сборка с использованием клеев

Воячек И.И., Кочетков Д.В. Влияние анаэробных материалов на распределение нагрузки в резьбовом соединении 6

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Антонюк В.С., Вислоух С.П., Филиппова М.В., Диордица И.Н. Система загрузки обобщенных производственных систем сборки на основе статистического управления сложными технологическими процессами 1

Анферов А.А., Шардакова М.А. Получение информации о недопустимых режимах эксплуатации гидромашин 2

Барзов А.А., Осипков А.С., Шашурин В.Д. Методика технологических испытаний термоэлектрических модулей на основе регистрации сигналов акустической эмиссии с целью оценки качества их сборки..... 9

Бондарь А.В., Мельников В.П., Муртазин Д.А. Управление обеспечением качества ракетно-космической техники на этапах испытаний, эксплуатации и утилизации..... 1

Ветрова Н.А., Хныкина С.В., Шашурин В.Д. К вопросу о прогнозировании качества смесителей радиосигналов на основе РТД на этапе их сборки 4

Гориш А.В., Дунаевский В.П., Кириллов А.Б., Котов А.Н., Макаров Ю.Н. Анализ механизма управления интегрированным производственно-технологическим комплексом при конструировании и производстве систем информационно-измерительной техники..... 4

Журавлев А.Н., Толоконников С.В., Дорбышев М.Г. Оценка влияния точности сборки на эксплуатационные параметры волновой зубчатой передачи 4

Завалин Н.Н., Шигапов И.Ш. Применение системы импульсных трубопроводов для определения потерь полного давления в воздуховодах агрегатов топливно-энергетического комплекса..... 7

Заярный В.П., Волков И.В., Шилин А.Н. Автоматизированная стабилизация температуры на измерительных участках сборочных цехов..... 6

Клебанов Я.М., Журавлев А.Н., Утянкин А.В. Влияние отклонения формы поверхностей на работоспособность прессовых соединений буровых шарошечных долот 6

Козубняк С.А., Агасиева С.В., Шашурин В.Д. Разработка технологической операции термоиспытаний прибора на основе РТД 7

Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Оценка погрешностей сборки машин виброакустическим методом..... 1

Крылов Е.Г., Плотников А.Л., Берсенев П.В. Автоматизированный контроль качества сборки твердосплавных торцовых фрез 7

Куменко А.И. Использование вибровозбудителей для испытаний, диагностики и наладки турбоагрегатов..... 1, 2

Ланщиков А.В. Обеспечение качества операций сборки резьбовых соединений..... 11

Макушин А.А. Оптимизация параметров сборки подшипников коленчатого вала двигателя..... 9

Макушин А.А., Зубков Е.В., Новиков А.А. Оптимизация процесса испытания двигателей внутреннего сгорания..... 4

Мартынов А.П., Зенкин А.С., Васильев А.П. Управление качеством неподвижных соединений за счет нормирования конструктивно-технологических параметров 9

Маслов А.Р. Влияние вида сборки инструмента на качество обработанных поверхностей 3

Матросова Ю.Н. Программное обеспечение для автоматизированной обработки результатов контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов перед сборкой 4

Матросова Ю.Н., Лапыгин Д.А. Автоматизированная система контроля параметров изделий перед сборкой 12

Михайловский И.А., Гун И.Г., Калмыков Ю.В., Сальников В.В., Пестерев Д.А. Совершенствование деформирующего инструмента и исходного контура детали с целью повышения качества соединения, получаемого при сборке запрессовкой шаровых шарниров автомобилей..... 3

Отений Я.Н., Ольштынский Н.В., Ольштынский С.Н., Щёголев Н.Г. Автоматизация оценки параметров зоны упругопластической деформации при обработке сопрягаемых поверхностей деталей 4

Первухина Е.Л., Осипов К.Н., Голикова В.В. Контроль качества сборки машиностроительных изделий по диагностическим параметрам 6

Санаев Н.К., Тынянский В.П. Оптимизация факторов, снижающих прорыв газа в ДВС, методом ранговой корреляции 8

Степанов Ю.С., Кобяков Е.Т. К вопросу проектирования колебательной системы испытательной машины осевого циклического нагружения 10

Толоконников С.В. Повышение эффективности сборки на основе визуализации процессов гидромониторных систем 3

Шилин А.Н., Петров С.А. Определение центров профилограмм обечаек при сборке корпусов нефтеаппаратуры 9

Шилин А.Н., Петров С.А., Заярный В.П. Автоматизация определения оптимальных условий сборки корпусов нефтегазового оборудования 6

Шуваев В.Г., Папшев В.А. Применение ультразвуковых колебаний для обеспечения качества прессовых соединений 2

Разборка. Ремонт

Корниенко В.М., Погодаев А.В. Достижение универсальности ряда мобильных технологических процессов разделения металла 8

Прояева О.А., Берсенев Ю.Л. Автоматизация технологического обслуживания и ремонтных работ центробежного компрессора газоперекачивающего агрегата 6

Экология и безопасность сборочных работ

Штенников В.Н. Бессвинцовые технологии в электронном машиностроении 5

В помощь конструктору, технологу

Гузеев В.И., Шаламов П.В., Радийчук С.Е. Определение параметров отбортовки и длины свинчивания при изготовлении отверстий вращающимся пуансоном в тонколистовом металле..... 2

Муравьёв В.И., Клешнина О.Н., Кузнецов А.А., Физулаков Р.А., Мартынюк А.М. Исследование влияния адсорбированной влаги на содержание водорода в поверхностном слое заготовок из титановых сплавов 10

Подготовка специалистов

Григорьев С.Н. 80 лет МГТУ "Станкин": инновации в образовании и науке 3

Проблемы машиностроения и их высокоэффективное решение

Житников Ю.З., Воркуев Д.С. Обоснование конструктивных особенностей и разработка высокоточных многошпиндельных гайковертов нового класса 11

Первухина Е.Л., Голикова В.В., Степанченко Т.Л. Информационные технологии в задачах выявления неисправных машиностроительных изделий в ходе приемосдаточных испытаний после сборки 11

Рапацкий Ю.Л., Липка В.М. Исследование влияния параметров резьбовых крепежных деталей на качество сборки изделий машиностроения..... 11

Тараховский А.Ю. Способы деформации уплотнительных колец круглого сечения при установке их во внутренние канавки цилиндрических поверхностей..... 11

Филипович О.В., Копп В.Я. Оценка нижней границы незаверешенного производства при двухпараметрической селективной сборке 11

Хайбуллов К.А. Сборка уплотнительных соединений с использованием упругих прокладок..... 11

В порядке обсуждения

Прилипский К.В., Лобуз В.В. Использование меры близости для определения функционально-пространственной структуры механосборочного производства 12

Информация

Иванов А.Н. Высокие технологии XXI века..... 10, 12
Иванов А.Н. Инлегмаш-2010..... 9
Иванов А.Н. Упаковка/Упак Италия – 2010 ..... 5, 8
Указатель статей, опубликованных в 2009 году..... 1

Соединение деталей машин

Крайнев А.Ф. Подвижные соединения и механизмы (функциональная целесообразность и технологичность)..... 1, 2

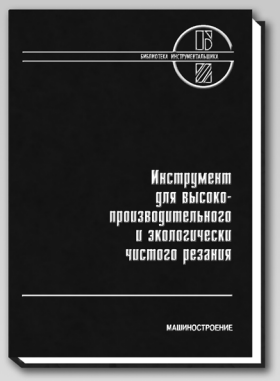
Нормативная документация

Винты с цилиндрической округленной головкой и звездообразным углублением под ключ. ГОСТ Р ИСО 14583–2009 6

Разное

Мягких Ю.П., Будрина О.А. Способ очистки тракта трубопровода..... 2

Смирнов В.А. Реализация компьютерного управления на постоянной несущей частоте применительно к оборудованию с параллельными приводами..... 2



ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО РЕЗАНИЯ.

(Библиотека инструментальщика)

В.Н. Андреев, Г.В. Боровский, В.Г. Боровский, С.Н. Григорьев

2010 г. 480 с. ISBN 978-5-94275-571-1 **Цена 700 р.**

Представлены результаты исследований эффективности применения новых инструментальных материалов (твердые сплавы и быстрорежущие стали, керамические материалы, сверхтвердые материалы) и износостойких покрытий для высокоскоростного резания.

Приведены различные конструкции режущего инструмента для обработки тел вращения, плоскостей и отверстий, способствующие эффективному использованию режущего инструмента.

В связи с ужесточением экологических требований к смазочно-охлаждающим технологическим средствам рекомендованы альтернативные способы улучшения условий в зоне стружкообразования.

Для конструкторов инструмента, технологов, может быть полезна студентам втузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский 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

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.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 09.11.10 г. Подписано в печать 11.01.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,50. Заказ 8. 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.