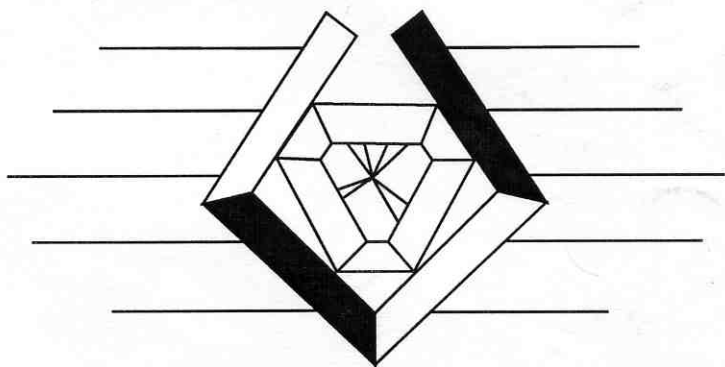


Выдающиеся ученые



ИТМО

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ ИТМО

*Серия монографий ученых
Санкт-Петербургского государственного
(бывшего Ленинградского)
института точной механики и оптики
(технического университета)*



Выпуск 6

Основана в 2000 году по решению
Ученого Совета университета
в ознаменование 100-летия со дня создания
в составе Ремесленного училища цесаревича Николая
Оптико-механического и часового отделения,
превращенного трудами нескольких
поколений профессоров и преподавателей
в один из ведущих технических
университетов России

Редакционная коллегия серии:
проф. В.Н. Васильев (председатель), проф. Г.Н. Дульнев,
проф. С.П. Митрофанов, проф. Г.И. Новиков,
проф. М.И. Потеев (ученый секретарь)

Главный редактор серии – заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
академик Академии естественных наук Российской Федерации,
профессор Г.Н. Дульнев

Ю. Г. ШНЕЙДЕР

**Эксплуатационные свойства
деталей с регулярным
микрорельефом**

*Репринтное воспроизведение
издания 1982 года*

ББК 34.62

Ш76

УДК 621.784.4 : 004.1

Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001.-264 с.

Книга посвящена одной из технологий финишной обработки давлением – регуляризации микрорельефов поверхностей деталей машин и приборов. Приведено описание схем, методов, оборудования и инструмента, применяемых для образования регулярных микрорельефов. Рассмотрены теория процесса и методика расчета параметров микрорельефа как функции служебных свойств деталей и параметров режима вибронакатывания как функции параметров микрорельефа.

Для конструкторов, технологов и исследователей, работающих в области машино-, приборо- и аппаратостроения.

The book is devoted to technology of finishing processing by pressure - namely regularization of microreliefs of details' surfaces in machines and devices. The description of new circuits, methods, equipment and tool used for formation of regular microreliefs is given. Theory of process and technique for estimating microrelief parameters as functions of service properties of details as well as parameters of vibrating roiling mode as functions of microrelief parameters are considered.

For designers, technologists and researchers working in mechanical engineering and instrument making.

ISBN 5-7577-0166-8

© Санкт-Петербургский
государственный институт
точной механики и оптики
(технический университет),
2001

© Издательство "ИВА", 2001

Содержание

Профессор Ю.Г. Шнейдер	7
В мире мудрых мыслей	9
Афоризмы Ю.Г. Шнейдера	10
Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом (репринтное воспроизведение издания 1982 года)	13
Основные даты жизни и научно-педагогической деятельности Ю.Г.Шнейдера	261
Основные научные публикации Ю.Г.Шнейдера	262

ПРОФЕССОР Ю.Г.ШНЕЙДЕР

25 лет-это возраст, когда все ладится, все по плечу. Что же говорить о человеке, которому трижды по 25. Он в три раза мудрее, владеет всеми секретами профессионального мастерства, обладает жизненным опытом.

Но 75 – это 75. Время подводит итоги, а для человека, избравшего своим поприщем точные науки, лучше всего подводить итоги с помощью чисел. Судите сами: 57 лет трудовой деятельности, 50 лет семейной жизни, 42 года в партии, 900 дней блокады, 9 изданных монографий и около 300 статей. И тут одной арифметики мало – нельзя обойтись без географии. Его труды издавались в Англии, США, Венгрии, Китае, Польше, ФРГ. Столь же представительна география использования его изобретений: они запатентованы в Италии, Франции, ФРГ, США, Англии, Японии.

В нашей стране с этими изобретениями можно встретиться практически в любом городе: они используются более чем на 400 предприятиях. Если к этому добавить, что продолжателями его дела являются 60 кандидатов и 2 доктора наук, то экономический эффект его работ вряд ли удастся подсчитать в рублях. Наряду с этим у него имеются 3800 афоризмов. Многие из них были опубликованы в газете нашего вуза.

Все, кто работал или работает в СПб ГИТМО (ТУ), понимают, что речь идет о Юрии Гдальевиче Шнейдере – профессоре кафедры технологии приборостроения.

На страницах нашей газеты выпускники института когда-то писали о нем так: “Прекрасным примером пробуждения интереса к науке могут служить лекции профессора Ю.Г.Шнейдера – замечательного преподавателя, искусного лектора” или “Вспоминая всех преподавателей, у которых учился, хочу выделить двоих, у кого в полной мере слились воедино владение материалом и лекторский талант. Это прежде всего профессор Ю.Г. Шнейдер”.

Студенты слушают, прежде всего, тех, кому есть что сказать. У профессора Ю.Г.Шнейдера сорокалетний опыт исследований. Он создатель нового в науке и технике направления – регуляризации микрорельефа поверхностей. Это позволяет повышать качество и надежность машин и приборов. Под руководством Ю.Г. Шнейдера разработан ГОСТ “Поверхности с регулярным микрорельефом”, а на его основе – проект международного стандарта. Новое направление получило признание за рубежом,

в частности в США, о чем свидетельствовал американский журнал "Прецизионная техника".

Последняя монография ученого "Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом" переведена и издана Оксфордским издательством в Англии. Дело своего учителя продолжают ученые Польши и Болгарии, которые в свое время окончили аспирантуру нашего вуза под руководством Ю.Г.Шнейдера.

Долгие годы он являлся бессменным председателем Леинградского комитета качества поверхности. Более двух с половиной тысяч консультаций получили от него работники промышленных предприятий, НИИ и КБ.

По материалам газ. "Кадры приборостроению", 17.06.88.

Петербургский профессор, доктор технических наук, заслуженный изобретатель России Юрий Гдальевич Шнейдер более тридцати лет трудился в Институте точной механики и оптики. В том самом, который он окончил в 1939 году и который ныне именуется техническим университетом.

Все эти годы, кроме занятий со студентами, профессор руководил научной работой более 80 будущих докторов и кандидатов наук.

Помимо нескольких монографий и двух сотен научных статей на счету Юрия Гдальевича множество изобретений. Число их перевалило за сотню. И среди них – весьма значительные, поистине – открытия. Не случайно одно из них, дающее новое направление в науке и технике, запатентовано в Германии, Японии, США и других, промышленно развитых странах.

А еще Ю.Г.Шнейдер – универсальный спортсмен. Здесь и легкая атлетика, и лыжи, и велосипед. Но особенно любимые с юных лет два абсолютно несхожих вида спорта: рыбная ловля и большой теннис. И в том, и в другом Шнейдер почти профессионал. В 1944 году, едва окрепнув после блокадной дистрофии, он завоевал звание чемпиона Ленинграда по теннису. А затем три десятка лет регулярно участвовал в городских и всесоюзных турнирах мастеров. Даже на девятом десятке жизни профессор иногда выходил с ракеткой на корт.

И, наконец, Юрий Гдальевич сочинял афоризмы. Их у него несколько тысяч. Часть из них публиковалась в институтской многотиражке, в сборнике, выпущенном Домом ученых, журнале “Наука и религия”, в “Литературной газете” и газете “Неделя”.

Остро отточенный ум ученого-изобретателя позволял ему придумывать наряду со сложнейшими техническими новшествами остроумные, глубокие афоризмы, насыщенные мудрыми мыслями, нестандартными наблюдениями. Как правило, автор не ставил своей задачей во что бы то ни было рассмешить читателя. В его афоризмах и фразах прежде всего чувствуется стремление придать сказанному философский смысл, заставить человека задуматься об основополагающих моментах бытия: жизни, смерти, любви. Иногда даже банальной фразе автор придавал неожиданный, оригинальный поворот.

*По тексту предисловия к книге Ю. Шнейдера “Коротко о многом”
(автор предисловия – Я. Мазалтов)*

АФОРИЗМЫ Ю.Г.ШНЕЙДЕРА

Никаким другим правом не пользуется человек так полно и умело, как правом на ошибку.

Хорошая смазка помогает лишь хорошей машине.

Не торопись выдвигать гипотезы – их могут проверить при твоей жизни.

Стоит свершиться казавшемуся невероятным, как оно становится очевидным.

Чтобы быть человеком дела, иметь дело необходимо, но не достаточно: надо еще быть человеком.

У кого нет своих мыслей, у того нет интереса к мыслям других.

Ничто так строго не судит одаренных как бездарность.

Ум – дар, мудрость – приобретение.

Мысли надо будить осторожно – можно разбудить не ту.

Не только бытие, но и здоровье определяет сознание.

Печально, когда круг интересов превращается в точку.

Одни читают книгу жизни, другие ищут в ней опечатки.

Чем меньше извилин, тем длиннее мысли.

Фиговый листок прикрывает не только наличие, но и отсутствие.

Лучше широта взглядов, чем убеждений.

“Из песни слова не выкинешь!” – фраза устаревшая. Многие современные песни хочется выкинуть целиком

Все-таки не хватило женщинам сил остаться слабым полом.

Любви покорны все возрасты, меняются лишь формы.

Достигнув вершины, закрепляйтесь! Сдует.

Цитируется по книге: Ю. Шнейдер. Коротко о многом. СПб., 1995. –104с.



**Юрий
Гдальевич
ШНЕЙДЕР**

Ю. Г. ШНЕЙДЕР
Доктор технических наук профессор

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА
ДЕТАЛЕЙ
С РЕГУЛЯРНЫМ
МИКРОРЕЛЬЕФОМ

Второе издание,
переработанное и дополненное



Ленинград
«Машиностроение»
Ленинградское отделение
1982

Взаимодействие предметов материального мира имеет всеобщий характер. При этом свойства взаимодействующих объектов претерпевают те или иные изменения. Поскольку взаимодействие твердого тела с другим твердым телом или жидкостью, газом, плазмой происходит по ограничивающим их поверхностям, мерой изменений должна быть истинная площадь поверхности, ограничивающей тело. В тех случаях, когда, исходя из служебных свойств взаимодействующих твердых тел или твердого тела с другой фазой, изменения должны быть минимальными (трение, износ, смятие и другие виды деформации), минимальной должна быть и площадь контактирующих поверхностей. Минимизация поверхности связана с проявлением одного из самых общих законов природы — стремления любой системы к минимуму свободной энергии, обеспечивающей ее устойчивость против воздействия окружающей среды. Внешним отражением этого закона является симметрия, регулярность, которые предельно четко проявляются на всех поверхностях, «созданных природой».

Поверхности, образующиеся на деталях всеми известными способами обработки, вследствие неоднородной пластической деформации нерегулярны, хаотичны, что затрудняет, а часто делает невозможным решение задачи оптимизации микрорельефа поверхности, минимизации ее площади. Вследствие этого весьма усложняется реализация в промышленности стандарта на шероховатость поверхности (ГОСТ 2789—73). Таким образом, одной из важнейших проблем в области качества поверхности является изыскание методов обработки, обеспечивающих возможность образования на поверхности деталей регулярных, тонко управляемых, аналитически рассчитываемых микрорельефов. Работы в этом направлении ведутся во многих передовых промышленных странах.

Наиболее совершенным и универсальным методом образования регулярных микрорельефов в настоящее время является предложенный и разработанный автором метод вибрационного накачивания, основанный на тонком пластическом деформировании поверхностных слоев металла и сложном относительном перемещении обрабатываемой поверхности и деформирующего элемента.

За счет одновременного, независимого варьирования значений большого числа параметров режима вибрационного накатывания становится возможным образование регулярных микрорельефов различных видов. При этом практически в неограниченных пределах изменяются и регулируются значения как стандартизованных, так и нестандартизованных геометрических параметров качества поверхности.

Большим числом исследований, выполненных в ЛИТМО, в других учебных институтах и НИИ, выявлены оптимальные регулярные микрорельефы рабочих поверхностей многих пар, работающих в самых различных условиях.

Данные исследований свидетельствуют, с одной стороны, об универсальности нового направления оптимизации микрогеометрии образованием регулярных микрорельефов способом вибрационного накатывания, а с другой — об его эффективности при решении самых различных задач совершенствования контактов твердых тел с твердыми телами, жидкостями и газами. При этом не только улучшаются эксплуатационные характеристики пар, но и снижаются требования к шероховатости поверхности, исключаются из технологического процесса трудоемкие и дорогостоящие операции (доводка, шабрение, хонингование, полирование, покрытия, термическая обработка). Следовательно, сокращается цикл изготовления деталей и снижается стоимость обработки, упрощается конструкция деталей (исключаются масляные канавки, упорные бурты в неподвижных соединениях, дополнительные крепления к прессовым соединениям и др.).

Особенности процесса вибронакатывания: а) независимое регулирование шага и высоты неровностей, что неосуществимо при резцовой и абразивной обработке; б) независимое регулирование направления канавок или выступов полностью нового микрорельефа; в) образование микрорельефов с радиусами скруглений выступов и впадин на один-два порядка большими, чем при всех известных способах обработки, с малыми углами наклона — пологими неровностями, с предельно малой длиной линии профиля; при этом число выступов и впадин неровностей на единице площади может рассчитываться и выдерживаться с практически абсолютной точностью.

Технологические и метрологические отличия регулярных микрорельефов от шероховатости поверхностей деталей машин и приборов определяют и особенности решения в целом проблемы качества поверхности во всех ее четырех аспектах: нормирование конструктором геометрических параметров качества поверхности, технологическое их обеспечение, контроль и стандартизация.

Эти особенности сводятся к следующему.

Поскольку регулярные микрорельефы (как с системой канавок, так и полностью новые), создаваемые способом вибрационного накатывания, отличаются от традиционных, образуемых при всех других способах обработки, однородностью всех геометриче-

ских параметров, строго функционально связанных с параметрами режима, практически впервые конструктор получает возможность нормировать параметры микрорельефа, задавая их на основе аналитических расчетов или эксперимента через параметры режима вибрационного накатывания. Это — первая особенность решения проблемы качества поверхности с регулярным микрорельефом.

При образовании регулярных микрорельефов появляется возможность нормирования и технологического обеспечения таких аналитически рассчитываемых геометрических параметров, как число выступов и впадин на единицу поверхности, длина профиля, коэффициент заполнения, радиус выступов и впадин, являющихся во многих случаях основными, определяющими эксплуатационные свойства поверхностей (например, фактическую площадь контакта твердых тел с различными фазами, отражательную способность, гидроплотность, сопротивление коррозионному растрескиванию, электрическую прочность и пр.). Это — вторая особенность решения проблемы качества поверхности с регулярным микрорельефом.

Поскольку значения параметров регулярного микрорельефа с высокой точностью воспроизводятся при данном режиме вибрационного накатывания, исключается необходимость их измерения с помощью приборов или эталонных образцов. Достаточен контроль лишь параметров режима вибрационного накатывания. Это — третья особенность.

Имеются все предпосылки для дополнения комплекса параметров стандарта, на регулярные микрорельефы, такими параметрами, как радиусы скругления выступов и впадин неровностей, угол наклона образующей выступа, коэффициент заполнения, длина линии профиля. Это — четвертая особенность.

Анализ перечисленных особенностей свидетельствует не только о новизне подхода к решению проблемы качества поверхности, но и о его прогрессивности, поскольку повышается точность и надежность нормирования конструктором и технологического обеспечения технологом качества поверхности, значительно упрощается и удешевляется его контроль, на качественно новый, более высокий уровень поднимается стандарт на шероховатость поверхности. Все это облегчает решение задачи повышения качества промышленной продукции.

ОБРАЗОВАНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ МИКРОРЕЛЬЕФОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ

1. Регуляризация микрорельефов поверхностей деталей

Опыт эксплуатации машин, приборов, аппаратов убедительно показывает, что качество, надежность, долговечность зависят от характера контактирования сопрягаемых деталей друг с другом или с жидкой, газовой или другой средой, определяемого состоянием поверхностного слоя контактирующих деталей. Поэтому оптимизации качества находящихся в контакте поверхностей уделяется в последнее время все большее внимание. Особенно следует выделить оптимизацию микрогеометрии контактирующих поверхностей. Решение этой задачи сложно, что обусловлено двумя факторами: многообразием технических контактов и контактными явлениями; сложной взаимосвязью служебных свойств контактов с микрогеометрией контактирующих поверхностей.

В табл. 1 приведены различные виды поверхностного взаимодействия твердого тела с твердым телом, с газом, жидкостью и плазмой, сопровождающие их явления и взаимосвязь контактных явлений с различными параметрами шероховатости поверхности и регулярных микрорельефов. В табл. 2 приведены данные о качественной взаимосвязи различных эксплуатационных свойств поверхностей с комплексом параметров шероховатости поверхности.

Однако, помимо этих общих объективных факторов, определяющих сложность и трудность решения задачи оптимизации микрогеометрии контактирующих поверхностей, есть еще один фактор, усугубляющий эти трудности: иррегулярный, даже хаотичный характер микрорельефа поверхностей, образующихся при применении большинства традиционных способов финишной обработки, основанных на отделении от общей массы частиц обрабатываемого материала. К таким способам относятся абразивная, резцовая, электрофизическая обработки и некоторые способы обработки давлением, например, прокатка и волочение, при которых на обработанных поверхностях микрорельеф образуется как негативный отпечаток микрорельефа рабочих поверхностей инструмента (соответственно прокатных валков и фильер) после их шлифования или абразивной доводки.

1. Различные виды поверхностного взаимодействия твердого тела

С твердым телом	Параметры микрогеометрии	С жидкостью	Параметры микрогеометрии	С газом	Параметры микрогеометрии
Трение качения и скольжения	tp, r, Rz, Ra, α	Смачивание	φ, α, r', Rz	Адсорбция	$R\alpha, S, r', l, \varphi$
	R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp
Статическое и динамическое нагружение	r, ω, Rz, tp	Отражение, преломление электромагнитных волн	$R\max, \sigma, S, \alpha$	Теплопередача, передача импульса	$R\max, \varphi, \omega, \alpha$
	R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp, γ, β
Теплопередача	r, Rz, ω, tp	Электропроводность, гальванические явления	φ, r, α	Отражение, преломление электромагнитных волн	$R\max, \sigma, S, \alpha$
	R, N, Tp		R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp, γ, β
Отражение, преломление электромагнитных волн	$R\max, tp, \sigma, S, \alpha$	Электризация	$\varphi, l, R\max$	Эмиссия электронов	r, φ, S, α
	R, N, Tp, γ, β		R, N, Tp		R, N, Tp, γ, β
Электропроводность	r, Rz, ω, tp	Коррозия	$R\alpha, r', S$	Взаимодействие с электронными пучками	φ, l, r, r'
	R, N, Tp		R, r', S		R, N, Tp
Электризация	tp, r, ω		R, r', Tp	Электризация	φ, S, l
	R, N, Tp		R, N, Tp		R, N, Tp

Обозначения: $R\alpha$ — среднее арифметическое отклонение профиля; Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам; $R\max$ — наибольшая высота неровностей профиля; S — средний шаг неровностей по вершинам; tp — относительная опорная длина профиля; r — радиус закругления вершин неровностей; r' — радиус закругления впадин неровностей; α — угол наклона образующих неровностей; ω — число неровностей на единицу площади; σ — коэффициент неоднородности; φ — угол, определяющий направление неровностей; l — истинная длина профиля; R — высота элементов регулярного микрорельефа; N — число элементов регулярного микрорельефа на единицу поверхности; α, β — направления расположения элементов регулярного микрорельефа.

2. Взаимосвязь эксплуатационных характеристик поверхностей с геометрическими параметрами их микрорельефа

Эксплуатационные характеристики	Ra	Rz	Rmax	S	F _{оп}	k _{зап}	β	r	r _{нст}	L _{нст}	N	$\frac{r}{R_{max}}$	Шероховатость поверхности	σRz	r'
Износостойкость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коэффициент трения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Усталостная прочность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочность посадок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коррозионная стойкость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Обтекаемость газами и жидкостями	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Пылеудаляемость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочность и качество гальванических покрытий	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Контактная жесткость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Отражаемость световых и других лучей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Теплоотражение	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Свойства тонких пленок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сопrotивление схватыванию	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Гидроплотность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Электрическая прочность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Очистка при вакуумировании	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Трение в вакууме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Обозначения: Ra — среднее арифметическое отклонение профиля; Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам; Rmax — наибольшая высота неровностей профиля; S — средний шаг неровностей по вершинам; F_{оп} — площадь опорной поверхности; k_{зап} — коэффициент заполнения профиля; β — средний шаг неровности по вершинам; r — площадь опорной поверхности; F_{нст} — коэффициент заполнения профиля; L_{нст} — длина реальной поверхности; L_{нст} — длина реального профиля; N — число выступов на единицу поверхности; σRz — коэффициент неоднородности; r' — радиус закругления впадин неровностей.

Формирование микрорельефа с неоднородными по форме и размерам неровностями является следствием неравномерного по своей природе процесса пластического деформирования обрабатываемого материала в зоне контактирования его с деформирующим элементом инструмента; предельно неоднороден и процесс отделения частиц материала от общей его массы. Такой характер микрорельефа вызывает трудность в решении трех основных задач оптимизации микрогеометрии: надежного, научно обоснованного нормирования, технологического обеспечения, точного измерения и контроля. В результате практически невозможно нормирование параметров микрогеометрии на основе аналитических расчетов, например, таких, как фактическая площадь контакта и фактическая площадь сопрягаемых поверхностей, давления, воспринимаемые нагрузки, маслосъемкость и др.

Усложняется и расчетное технологическое обеспечение заданной конструктором микрогеометрии, поскольку неоднородное пластическое деформирование нарушает основные геометрические зависимости между формой, размерами и взаиморасположением неровностей, с одной стороны, и технологическими параметрами режима обработки и геометрией инструмента — подачей и радиусом закругления вершины резца при точении — с другой. Неоднородность микрорельефа усложняет также контроль геометрических параметров качества поверхности и их стандартизацию. В частности, снижается точность измерений как стандартизованных ГОСТ 2789-73, так и нестандартизованных параметров шероховатости поверхности.

При стандартизации приходится принимать в качестве параметров микрорельефов средние величины, например Ra — среднее арифметическое отклонение профиля; Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам; S — средний шаг неровностей по вершинам; S_m — наибольшая высота неровностей профиля. Это усложняет не только восприятие этих параметров как характеристик микрогеометрии реальной поверхности, но и их расчет, воспроизводство, измерение и контроль.

Таким образом, неоднородность микрорельефа шероховатых поверхностей, как органическое негативное их свойство, образующееся в результате применения большинства традиционных способов обработки, определяет основное направление совершенствования финишных операций изготовления деталей машин и приборов — регуляризацию микрорельефов их поверхностей. Анализ научно-технической и патентной литературы свидетельствует о том, что решению этой задачи во всех передовых промышленных странах уделяется большое внимание.

Можно с уверенностью сказать, что в области микрогеометрии поверхностей НТР нашла свое основное проявление именно в регуляризации микрорельефов. В этом случае реализация нового направления и решение основных задач зависят от уровня развития технологии.

2. Образование частично регулярных микрорельефов

Сложная технологическая задача образования на поверхностях регулярных микрорельефов решается различными путями как в отношении способа воздействия на обрабатываемый материал (химического, механического и др.), так и в отношении принципа регуляризации микрорельефа. Сложность задачи усугубляется не только тем, что необходимо создавать на поверхностях различных материалов (главным образом, металлов) регулярный микрорельеф, но и весьма тонко и в больших пределах «управлять» им, т. е. варьировать значения всех его параметров: высотных, шаговых и по площади. При этом варьирование значения каждого параметра должно быть независимым, т. е. таким, чтобы при изменении значения одного параметра, значения других оставались неизменными. Например, при изменении высоты неровностей шаг их не должен изменяться, как это происходит при точении и шлифовании.

Практически все известные способы образования регулярных микрорельефов этим требованиям не удовлетворяют. По целевому назначению они могут быть разделены на две группы: способы, с помощью которых на поверхности создается частично регулярный микрорельеф (ЧРМР), и способы, позволяющие создать полностью новый регулярный микрорельеф (РМР). В первом случае на поверхности образуются непрерывно или дискретно расположенные углубления, между которыми остается нетронутым исходный, чаще всего нерегулярный микрорельеф обрабатываемой поверхности; во втором — полностью новый микрорельеф с одинаковыми по форме, высоте и взаимному расположению неровностями¹.

Создание на рабочих поверхностях деталей машин и приборов с целью оптимизации их микрогеометрии различного рода углублений, выполняющих чаще всего роль «смазочных карманов», практикуется давно и сыграло свою роль в повышении работоспособности и долговечности узлов. Известен, например, французский патент, в котором предлагается, без какого-либо научного обоснования, номинальную площадь всех без исключения трущихся поверхностей уменьшить на 30 % за счет образования различного рода углублений.

В СССР на детали с поверхностями подобной конструкции выдано значительное число авторских свидетельств на изобретения, а за рубежом — патентов. В тех случаях, когда удавалось опытным путем с последующей обработкой в условиях эксплуата-

¹ Под регулярным понимается такой микрорельеф, степень регулярности неровностей которого по высоте, форме и взаиморасположению обеспечивает достаточную для инженерных расчетов точность линейных и других параметров микрогеометрии и зависящих от них эксплуатационных свойств поверхностей, превышающих минимум на один порядок точность подобных расчетов для шероховатых поверхностей.

ции отработать близкие к оптимальным геометрические параметры создаваемых различными способами углублений (форма в различных сечениях, размеры, занимаемая площадь относительно номинальной, расположение относительно друг друга и относительно направления движения), достигалось улучшение ряда служебных свойств поверхностей, как прирабатываемость, износостойкость, сопротивление схватыванию, гидроплотность и др. Однако серьезных исследований, результаты которых позволили бы научно обосновать выбор тех или иных систем углублений и численные значения перемещений выше параметров, до последнего времени практически не было. Реализацию в промышленной практике подобного направления оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей также затрудняло отсутствие достаточно совершенных, высокопроизводительных и, в особенности, универсальных способов образования углублений.

В табл. 3 приведена классификация наиболее широко применяемых и некоторых перспективных способов образования углублений на поверхностях деталей машин и приборов, на рис. 1 — принципиальные схемы некоторых из них.

Сверление по разметке или в кондукторе. Сверлением образуются на поверхностях различной формы круглые углубления — лунки конусообразной или пологой сферической формы в радиальном сечении. Лунки расположены дискретно и в единичном и мелкосерийном производстве выполняются по разметке, в серийном и крупносерийном — по кондукторам-трафаретам с целью увеличения маслосъемкости поверхности, уменьшения площади контакта. К достоинствам метода следует отнести отсутствие необходимости в специальном оборудовании и инструменте. Это относится к сверлению по разметке конусообразных углублений; однако этот способ не производителен, углубления конусообраз-

3. Классификация способов образования углублений

Виды углублений	
Дискретные	Непрерывные
Сверление по разметке или в кондукторе	Проточка круговых и винтовых канавок
Вихревое точение	Проточка канавок сложной формы с помощью копирных устройств
Вихревое фрезерование	Фрезерование канавок сложной формы с помощью копирных устройств
Вибродинамическое накатывание	Накатывание профильным роликом
Травление через трафарет	Вибрационное накатывание
	Травление после вибрационного накатывания

ной формы затрудняют подачу масла на поверхность контакта. Более совершенны в этом отношении неглубокие лунки сферической формы, однако для их сверления требуются сверла со сферообразной рабочей частью, менее благоприятные в отношении геометрии и условий резания. Сверление с помощью кондукторов и накладных трафаретов более производительное, но требует уже на стадии обработки оптимального ЧРМР применения комплекта

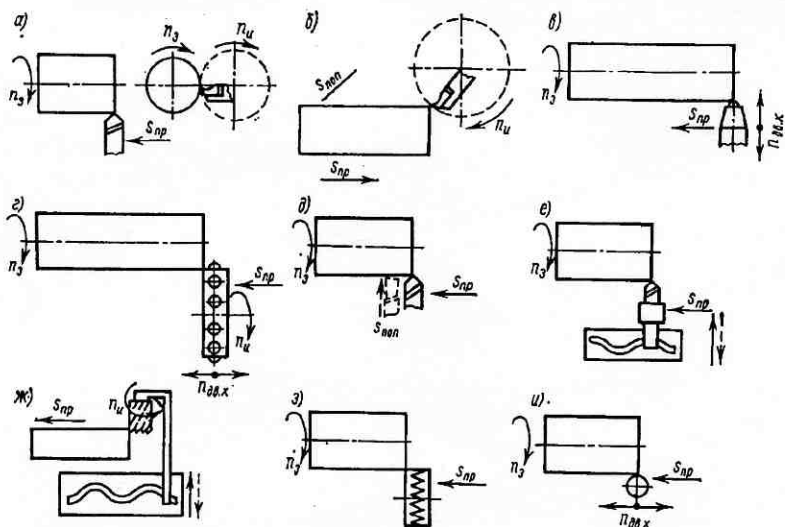


Рис. 1. Принципиальные схемы образования углублений регулярных микро- рельефов

довольно сложных и трудоемких в изготовлении кондукторов. Это связано со значительными затратами средств и времени.

Вихревое точение и фрезерование. Эти способы образования дискретно расположенных углублений на цилиндрических и плоских поверхностях основаны на прерывистом контактировании вращающегося инструмента с вращающейся (рис. 1, а) или поступательно перемещающейся (рис. 1, б) заготовкой. Параметры таких ЧРМР варьируются изменением скоростей относительного перемещения заготовки и инструмента: при обработке цилиндрических поверхностей (рис. 1, а) изменяются частота вращения заготовки n_3 , продольная подача инструмента ($s_{пр}$) и частота его вращения n_u .

При обработке плоских поверхностей (рис. 1, б) изменяются частота вращения инструмента n_u и поперечная подача $s_{поп}$ заготовки. Соотношением скоростей этих движений определяются, в первую очередь, такие параметры ЧРМР, как число вырезаемых

углублений на единицу площади, площадь, занимаемая углублениями относительно номинальной площади обрабатываемой поверхности, взаимное расположение углублений и расположение их относительно направления перемещения деталей в машине или приборе и др.

Таким образом, в отношении управляемости эти процессы достаточно универсальны, поскольку использование коробок скоростей и подач металлообрабатывающих станков, на которых они чаще всего осуществляются, позволяет варьировать значения скоростей движения заготовок и инструмента в достаточно больших пределах. Однако для этих способов образования углублений характерны и существенные недостатки: нерегулярный, хаотичный микрорельеф поверхности углублений, ударный характер резания, что неблагоприятно сказывается на станке, инструменте и заготовке, относительно сложный привод и сам механизм вращения инструмента и т. д. При определенных соотношениях n_3 , $n_я$, $s_{др}$ и $s_{поп}$ можно образовать на поверхностях и полностью новый, перекрывающий всю исходную поверхность микрорельеф, но микрорельеф поверхности каждого углубления, каждой лунки будет нерегулярен. Такой микрорельеф будет похож на микрорельеф, образуемый шабрением, только со значительно более регулярным расположением углублений.

Вибродинамическое накатывание¹. В основе этого процесса образования регулярно расположенных углублений в отличие от ранее рассмотренных лежит не резание, а холодное пластическое деформирование обрабатываемого материала. Принципиальная схема ударного вибрационного накатывания (ударного вибронакатывания) показана на рис. 1, в. Основной особенностью этого способа является сочетание раскатывающего действия, характерного для большинства способов поверхностного пластического деформирования (ППД), с ударным. В результате доля остаточной деформации возрастает, что приводит, при прочих равных условиях, к более значительному упрочнению как по степени, так и по глубине залегания упрочненного слоя металла.

Режим ударного вибронакатывания определяется следующими параметрами (рис. 1, в): усилием P ударного вдавливания инструмента (шариков, бойков сферической формы), частотой вращения заготовки n_3 , подачей деформирующего инструмента s , числом двойных ходов деформирующего элемента $n_{дв. х}$ и его диаметром d . Варьируя значения этих параметров, можно создавать различные системы углублений, различающиеся их числом на единицу площади обрабатываемой поверхности, площадью, занимаемой углублениями относительно номинальной, формой и глубиной углублений и их взаимным расположением. Таким образом, управляя образованием углублений, можно создавать системы с не касающимися, частично перекрывающимися одна другую лунками и

¹ Способ разработан канд. техн. наук В. Б. Саховым.

полностью перекрывающими исходную поверхность, и получать на поверхностях не только ЧРМР, но и РМР.

Способ ударного вибронакатывания применяется только на универсальных металлообрабатывающих станках: токарных и фрезерных [10]. Способ относительно универсален, производителен и безусловно перспективен. К недостаткам его следует отнести дискретный характер образуемых углублений, что ухудшает условия перетекания смазки, одностороннее динамическое воздействие на заготовку и элементы станка, что ограничивает возможность его применения для обработки мало- и неравножестких деталей, приводит к снижению жесткости станков, появлению шума.

Вибродинамическое накатывание. Этот способ (предложенный автором) основан на динамическом упрочнении поверхностей шарами, свободно установленными в радиально размещенных по окружности быстровращающегося диска круглых пазах (рис. 1, з). Давление шаров на обрабатываемую поверхность создается центробежной силой диска, вращающегося со скоростью до 30 м/с, под действием которой шары ударяют по заготовке и отжимаются ею; осуществляется упругий контакт деформирующих элементов — шаров с обрабатываемой поверхностью. Усилие вдавливания регулируется изменением натяга, зависящего от расстояния между шарами и обрабатываемой поверхностью и устанавливаемого с помощью поперечного суппорта, в котором закреплена виброголовка, совершающая одновременно с перемещением вдоль оси вращающейся заготовки осцилляционное движение в том же и обратном направлениях. Сочетание динамического воздействия на заготовку со сложным относительно нее перемещением деформирующих элементов должно интенсифицировать процесс пластической деформации, повысить производительность обработки.

Режим вибродинамического накатывания определяется следующими параметрами: n_3 , частота вращения диска с шариками n_n , подача s , число двойных ходов $n_{дв. х}$, амплитуда l . Сложная кинематика процесса позволяет значительно снизить прилагаемые к заготовке усилия, хотя одностороннее воздействие остается и требует учета, в особенности при обработке маложестких деталей типа осей и валов. Этот процесс открывает новые возможности образования РМР с геометрической структурой, отличной от структуры РМР, создаваемой вибронакатыванием.

Травление через графарет. Принцип образования дискретно расположенных углублений при этом способе тот же, что и при сверлении отверстий через кондуктор или графарет, но, взамен резания, осуществляется травление обрабатываемого материала. Это определяет высокую производительность, поскольку все углубления — лунки обрабатываются, как правило, одновременно в ванне. Достоинством травления является также практически неограниченная возможность обработки материалов любой твердости. Недостатки способа те же, что и при обработке сверлением:

уже на стадии обработки оптимального по форме, размерам, числу на единицу площади и взаимному расположению углублений необходимо располагать значительным по номенклатуре количеством дорогостоящих трафаретов. Число трафаретов при исследовании и выявлении оптимального микрорельефа тем больше, чем тщательнее и точнее обрабатывается оптимальный для тех или иных условий эксплуатации микрорельеф.

При определенных условиях и режимах осуществления всех способов образования дискретных углублений на поверхностях могут быть созданы непрерывные углубления и полностью новые микрорельефы, когда отдельные углубления перекрывают друг друга и между ними не остаются непокрытыми участки с исходной поверхностью. Так, в процессе шабрения вырезанные шабром вручную углубления располагаются таким образом, что одна лунка переходит в другую, образуя полностью новый микрорельеф. Поэтому шабрение не относится ни к способам образования дискретно расположенных углублений, ни к способам образования непрерывных углублений и РМР. Разброс формы и размеров неровностей, образуемых при самом тщательном шабрении, достигает 2—3-го классов шероховатости поверхности (по высотным параметрам); столь же велик разброс по шагу и взаимному расположению создаваемых углублений и выступов.

Проточка круговых и винтовых канавок. Чаще всего выполняется на универсальных станках токарной группы без использования каких-либо специальных устройств (рис. 1, д). На цилиндрических поверхностях осей, валов, втулок, подшипников и других деталей — тел вращения протачиваются пересекающиеся винтовые канавки большого шага (для чего используется звено увеличения подачи токарного станка) и, как показали исследования, неоправданно большой ширины и глубины, что лишь условно позволяет отнести эти углубления к элементам микрогеометрии. Круговые канавки протачиваются по схеме «врезания» (на рис. 1, д показано штриховой линией).

Выявилось также негативное влияние на трение и износостойкость боковых острых кромок, которые во всех случаях необходимо притуплять. На отдельных деталях (валах, осях, поршнях) протачивают не винтовые, а круговые канавки, расположенные на определенном расстоянии друг от друга. Основным недостатком углублений этого вида и способа их образования является ограниченная возможность варьирования таких параметров, как форма, занимаемая площадь относительно номинальной площади обрабатываемой поверхности, взаимное расположение. Это препятствует созданию оптимальных их значений, определяющих не только работоспособность, но и другие эксплуатационные свойства, в свою очередь зависящие от маслоемкости поверхности, условий удержания и перетекания смазки и др.

Проточка и фрезерование канавок сложной формы с помощью копирных устройств. Анализ технической и патентной литературы

свидетельствует о том, что в зарубежной промышленной практике (в Англии, ФРГ, Франции) способ образования регулярно сложнорасположенных непрерывных канавок, создаваемых для улучшения условий смазки и оптимизации площади поверхности контактирования сопрягаемых поверхностей, при помощи копирных устройств находит все большее распространение. Такой способ применяется также для образования различного вида растров, матриц, клише и т. п.

Копирные устройства создаются как на базе универсальных металлообрабатывающих станков, так и в виде специальных станков: плоскими копирными линейками (рис. 1, е), трехмерными копирами типа коноидов, со сменными или переключаемыми зубчатыми колесами для варьирования скоростей относительного перемещения заготовки и инструмента и др. Иногда создаются универсальные копировальные станки для изготовления самих копиров. Эти станки и устройства достаточно сложны, трудоемки в изготовлении и окупаются лишь в условиях серийного и крупносерийного производства. Крупным их недостатком является также необходимость при обработке оптимального микрорельефа и при изготовлении различных деталей наличия большого (по номенклатуре) комплекта дорогостоящих копиров. Это усложняет и удорожает выполнение экспериментальных исследований и самого процесса образования углублений на деталях. Органическим недостатком создаваемых «копирным» способом микрорельефов является хаотичный нерегулярный микрорельеф на дне углублений, характерный для всех способов обработки, в основе которых лежит резание материала.

Указанные недостатки ограничивают применение способов точения и фрезерования (рис. 1, ж) для образования ЧРМР с помощью копирных устройств.

Накатывание профильным роликом. Этот способ основан на перенесении микрорельефа инструмента — ролика на заготовку по схеме «вдавливания» или «на проход» (рис. 1, з). По первой схеме микрорельеф выдавливается на узком участке поверхности детали, не более ширины ролика. По схеме на проход можно обрабатывать поверхности практически неограниченной длины. Поскольку на поверхностях деталей чаще всего создаются углубления, на рабочей поверхности инструмента (ролика) образуется выпуклый микрорельеф, представляющий собой негативное отображение углублений, создаваемых на детали.

Достоинство такого способа — высокая производительность. Однако ему свойственны и существенные недостатки: для выдавливания углублений различного вида (по размерам, форме, взаиморасположению) необходимо создавать ролики с различным микрорельефом (достаточно сложный в изготовлении, дорогостоящий инструмент); при работе роликами даже относительно небольшого диаметра (40—50 мм) из-за большой площади контакта с заготовкой для выдавливания микрорельефа сравнительно

малой глубины (10—12 мкм) требуется приложение значительных усилий, что недопустимо при обработке мало- и среднежестких деталей; износостойкость роликов, в особенности при обработке сталей, мала; обработка термически упрочненных деталей практически невозможна. Ввиду этих недостатков область рентабельного применения данного способа ограничивается главным образом серийным и крупносерийным производствами относительно малотвердых деталей, когда затраты на изготовление роликов как при выявлении оптимального микрорельефа, так и при осуществлении процесса накатывания роликом окупаются.

Вибрационное накатывание (вибронакатывание)¹. Этот способ выполняется по схеме, приведенной на рис. 1, и, применяется для обработки цилиндрических поверхностей; при обработке плоских поверхностей осцилляционное движение также совершается инструментом, а заготовка движется поступательно в направлении подачи. Изменение значений параметров процесса вибронакатывания и соответственно параметров ЧРМР с непрерывно расположенными углублениями синусоидальной формы осуществляется в отличие от большинства вышеописанных способов не за счет изменения формы рабочих поверхностей копиров, трафаретов и инструмента, а изменением скорости относительного перемещения заготовки и инструмента. Даже при постоянном значении числа осцилляций инструмента ($n_{дв.х}$) число сочетаний n_s и s , обеспечиваемых коробками скоростей и подач универсальных металлообрабатывающих станков, удастся воспроизвести практически все виды ЧРМР рабочих поверхностей деталей. Такая универсальность в сочетании с простотой осуществления и высокой производительностью, использование в качестве инструмента стандартных шариков и алмазных наконечников, позволяют считать процесс вибронакатывания в настоящее время наиболее совершенным из всех применяемых для образования ЧРМР. Это полностью подтвердила промышленная практика.

Травление после вибрационного накатывания. Этот способ обработки применяется для образования глубоких (глубиной свыше 70 мкм), непрерывно расположенных синусоидальных смазывающих канавок на рабочих поверхностях азотированных (HRC 70—72) гильз двигателя (на термически необработанных гильзах двигателей внутреннего сгорания и дизелей глубина подобных канавок, как правило, не превышает 20—25 мкм). Этот способ обработки осуществляется следующим образом. На внутреннюю обрабатываемую поверхность гильзы наносится тонкий слой изоляционного вещества, прорезаемый затем до металла резцом лопаточного типа, закрепленным вместо шарика в вибронакатной головке; получаются синусоидальные канавки требуемого вида. Обработка производится на универсальном токарном станке. После этого производится протравливание. С помощью

¹ А. с. № 135095.

этого способа можно создавать требуемую систему канавок практически любой глубины, а при необходимости и сквозных.

Все рассмотренные способы образования углублений на поверхностях деталей (ЧРМР) с целью оптимизации их микрорельефов и улучшения эксплуатационных свойств необходимо совершенствовать в направлении универсализации, управляемости, повышения производительности, экономичности.

3. Образование регулярных микрорельефов вибрационным накатыванием

Образование регулярного микрорельефа по всей поверхности (РМР) — задача еще более сложная, чем образование углублений.

Ниже приведены основные требования к способам образования РМР.

1. Создаваемый регулярный микрорельеф должен быть высоко однородным по форме, размерам и взаиморасположению выступов и впадин.

2. Форма, размер и взаиморасположение неровностей регулярного микрорельефа должны быть функционально связаны с параметрами режима обработки, что предопределяет возможность аналитических расчетов параметров РМР — при решении прямой задачи и параметров режима — при решении обратной задачи.

3. Способ должен обеспечивать возможность тонкого и в больших пределах варьирования значений параметров РМР, определяющих форму, размер и взаиморасположение, т. е. он должен быть хорошо управляемым.

4. Необходимо предусмотреть возможность независимого регулирования — управления образованием регулярного микрорельефа с различными параметрами: изменение значений высотных параметров не должно приводить к изменению шаговых параметров или взаиморасположения неровностей.

5. Должна быть создана возможность технологического обеспечения и управления образованием не только стандартизованных параметров, но и других, весьма информативных, определяющих служебные свойства поверхностей параметров числа выступов и впадин на единицу площади, длины профиля, радиусов выступов и впадин неровностей и др.

6. Способ должен быть универсален, производителен, стабилен во времени, прост в осуществлении, экономичен.

В настоящее время еще не создан способ образования на поверхностях регулярного микрорельефа, который в полной мере удовлетворял бы перечисленным требованиям. В наибольшей степени отвечает этим требованиям предложенный и разработанный автором способ вибрационного накатывания¹.

¹ А. с. № 135095, № 191382, № 203713, № 313647, № 319455, № 321543, № 500833, № 538794 и др.

Применяемые за рубежом способы образования РМР, в частности, такие, как протравливание через трафареты и основанные на использовании различных копирных устройств, уступают вибрационному накатыванию в отношении универсальности, управляемости, производительности, экономичности, простоты осуществления¹.

Достоинства, эффективность и перспективность способа вибронакатывания подтверждены промышленной практикой и результатами исследования и применения в промышленности. Поэтому в дальнейшем основное внимание будет уделено описанию сущности, особенностей, возможностей и перспектив развития способа вибронакатывания и различных его модификаций.

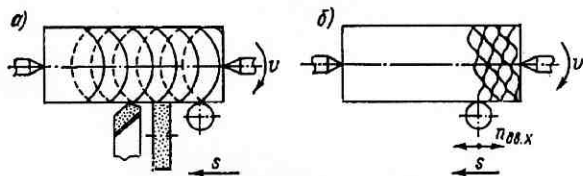


Рис. 2. Принципиальные схемы обработки

Схемы вибрационного накатывания. Выбор схем процесса вибронакатывания определялся, с одной стороны, необходимостью исключения недостатков, свойственных традиционным способам финишной обработки резанием и пластическим деформированием, а с другой — выполнением перечисленных требований к способам образования регулярных микрорельефов.

К основным недостаткам наиболее широко применяемых способов финишной обработки относятся:

1) примитивность кинематики, характерная для таких процессов, как точение, шлифование, доводка, обкатывание роликами и шарами, и, как следствие, сложность управления образованием на поверхности микрорельефа с заданными формой, размерами и взаиморасположением неровностей (рис. 2, а).

2) неоднородность пластической деформации и вибрации системы СПИД при всех видах обработки, основанных на резании, и образование вследствие этого нерегулярного, случайного по всем параметрам микрорельефа и волнистости; в меньшей степени этот недостаток относится к обработке пластическим деформированием, осуществляемым чаще всего при упругом контакте деформирующего элемента с обрабатываемой заготовкой;

3) невозможность независимого регулирования высоты и шага, высоты и направления неровностей, например при точении, фре-

¹ Способ вибрационного накатывания запатентован в США, Англии, Франции, ФРГ, Японии.

зеровании, шлифовании, доводке поскольку увеличение шага неровностей за счет увеличения подачи или применения более крупного зерна абразивного круга приводит одновременно к увеличению высоты неровностей, так же как изменение подачи связано с изменением угла наклона образующих неровностей относительно образующей обрабатываемой поверхности.

В основу создания способа обработки с образованием на поверхности регулярного микрорельефа были положены два принципа: отказ от резания — использование тонкого пластического деформирования и усложнение кинематики процесса обработки. Первый базировался на данных последних исследований, свидетельствующих о значительно большей однородности микрорельефа поверхностей, образованных пластическим деформированием,

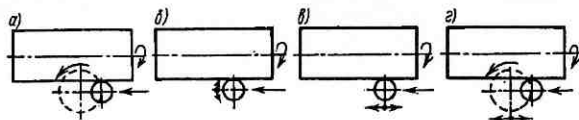


Рис. 3. Варианты схем вибрационного накатывания

в особенности, выполняемых при упругом контакте деформирующего элемента с заготовкой, по сравнению с поверхностями, образованными обработкой резанием; в этом случае практически не образуется и волнистость поверхности. Второй принцип основывался на том, что с усложнением кинематики любого способа обработки процесс резания интенсифицируется, появляется возможность варьировать такие параметры микрорельефа, как форма, высота и взаиморасположение неровностей.

Необходимость интенсификации процесса резания за счет усложнения траектории перемещения абразивного зерна относительно обрабатываемой поверхности заготовки была убедительно выявлена автором в сравнительных исследованиях процессов шлифования, доводки и суперфиниширования. Оставалось убедиться в справедливости распространения этих положений на обработку пластическим деформированием, а также в возможности осуществления кинематически сложного процесса обработки давлением с сохранением основных достоинств способов ППД — достижения высокой гладкости поверхности, значительного упрочнения поверхностного слоя обрабатываемого материала, создания в нем сжимающих напряжений.

В результате сопоставления различных схем и данных большого числа испытаний и исследований, выполненных первоначально автором, а позднее многими исследователями под его руководством, была выявлена наиболее простая в осуществлении, универсальная, удовлетворяющая большинству выше перечисленных требований схема процесса (рис. 2, б), первоначально названного вибрационным обкатыванием, а позднее переимено-

ванного в вибрационное накатывание (вибронакатывание). Предстоит еще испытать и исследовать другие варианты схем вибронакатывания (рис. 3, а—г).

Схема, показанная на рис. 2, б, оказалась наиболее приемлемой и эффективной по всем показателям. Параметры, определяющие режим вибронакатывания, представлены на рис. 4: n_3 — частота вращения заготовки, мин; s — подача деформирующего элемента за один оборот заготовки, мм; $n_{дв. х}$ — число осцилляций деформирующего элемента, мин; l — амплитуда осцилляций, мм; d_3 — диаметр заготовки, мм; P — усилие вдавливания деформирующего элемента, Н. Деформирующим элементом может быть шар, сферический алмазный, твердосплавный или другой наконечник.

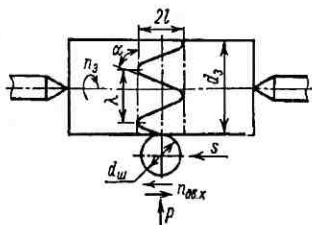


Рис. 4. Параметры режима вибронакатывания

Принципиальные схемы и параметры режима вибронакатывания наружных, внутренних цилиндрических, торцовых и плоских поверхностей приведены на рис. 5. В отношении параметров режима исключение представляет вибронакатывание торцевой поверхности. При обработке торцовых поверхностей с помощью головки обычного типа ($n_3 = \text{const}$) диаметр заготовки, а соответственно и окружная скорость ее на участках, расположенных на разном расстоянии от центра, различны. Это приводит к обра-

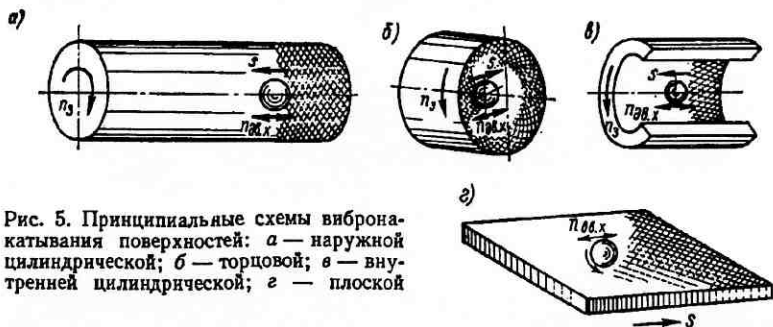


Рис. 5. Принципиальные схемы вибронакатывания поверхностей: а — наружной цилиндрической; б — торцевой; в — внутренней цилиндрической; г — плоской

зованию на торцевой поверхности микрорельефа, закономерно переменного по всем геометрическим характеристикам. Несколько различны на разных участках и физико-механические свойства, что связано с зависимостью остаточной деформации от скорости деформирования. Для большинства случаев практики это допустимо. В тех случаях, когда на торцевых поверхностях необходимо образование однородного по всем параметрам качества поверхности, необходимо создание специальных установок или станков с вариаторами скоростей шпинделя, обеспечивающими

непрерывное изменение частоты вращения заготовки пропорционально изменению радиуса окружности в зоне контакта обрабатываемой поверхности с деформирующим инструментом.

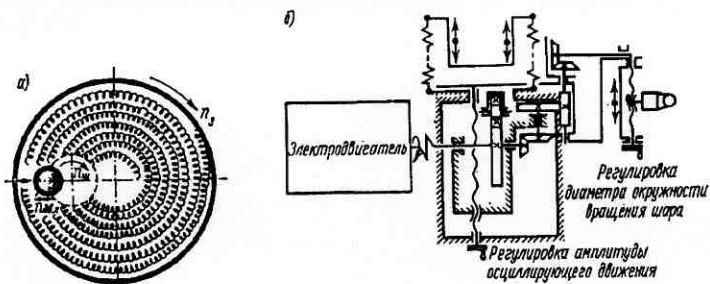


Рис. 6. Усложненные схемы вибронакатывания торцовых поверхностей

В настоящее время уже созданы опытные конструкции виброголовок с бесступенчатым регулированием числа осцилляций деформирующего элемента (рис. 5, а). В частности, такие головки могут быть использованы для вышеуказанных целей при условии, что число осцилляций будет непрерывно плавно, по определенному закону изме-

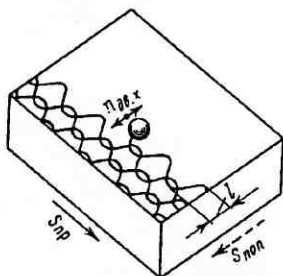


Рис. 7. Принципиальная схема строчечного вибронакатывания плоской поверхности

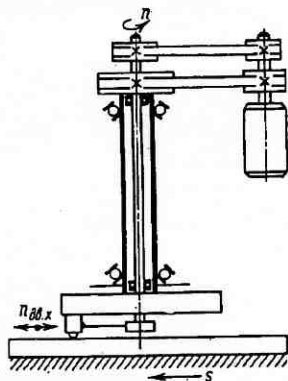


Рис. 8. Кинематическая схема виброголовки для обработки плоских поверхностей с перекрытием по ширине за один проход

няться с изменением окружной скорости заготовки. Для образования более сложного, чем при вибронакатывании торцовых поверхностей, рисунка, например, для декоративной обработки, автором предложена схема (рис. 6, а¹); один из вариан-

¹ А. с. № 191382.

тов кинематической схемы виброголовки, работающей по такой принципиальной схеме, показан на рис. 6, б.

Обработка плоских поверхностей осуществляется по двум основным схемам: 1) с перекрытием обрабатываемой поверхности по всей ее ширине за один проход (см. рис. 5, г); 2) строчечная обработка с дискретной поперечной подачей деформирующего элемента по ширине заготовки (рис. 7). Промышленная практика

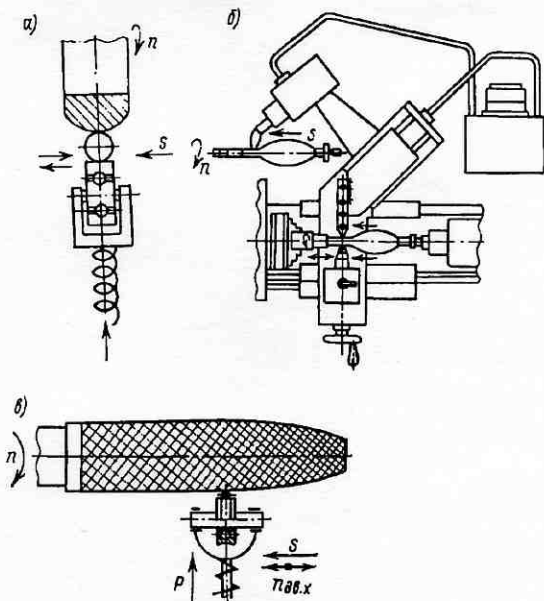


Рис. 9. Схемы обработки профильных поверхностей: а, в — без копира; б — по копиру, одновременно с обточкой

последних лет выявила большую эффективность вибронакатывания плоских поверхностей по первой схеме. Так обрабатываются главным образом направляющие станков, детали типа планок, клиньев практически неограниченной длины. Кинематическая схема одношариковой виброголовки, работающей по принципу перекрытия всей обрабатываемой поверхности за один проход, показана на рис. 8¹.

Обработка вибронакатыванием профильных поверхностей осуществляется по схемам, показанным на рис. 9. По этим схемам обрабатываются выпуклые и вогнутые сферические поверхности рефлекторов, шаровые поверхности различных шарнирных соединений от силовых передач до протезов.

¹ А. с. № 203713.

Операция виброкатывания, как и операция гладкого обкатывания, с целью повышения производительности и сокращения цикла обработки в условиях серийного производства может быть совмещена с обычно предшествующей ей операцией точения. Обработку гладких (без ступеней) валов, осей и других подобного типа деталей можно производить по схеме, показанной на рис. 10. Виброголовка с шаром 3 и его опорой 4 устанавливается на одном основании с резцедержателем резца 2 с противоположных сторон относительно заготовки 1 и перемещаются вдоль ее образующей с подачей s .

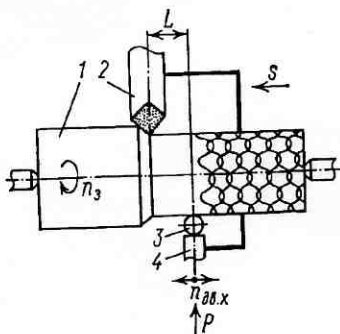


Рис. 10. Схема совмещенной обработки точением и виброкатыванием (L — расстояние между вершиной резца и осью шара)

относительно заготовки 1 и перемещаются вдоль ее образующей с подачей s .

Особенность виброкатывания по данной схеме состоит в том, что подача в этом случае определяется требованиями к исходной шероховатости поверхности, образующейся в результате обточки, а «рисунок» варьируется лишь путем изменения других параметров режима ($n_з$, $n_{дв.х}$, l). По такой же схеме может быть выполнена совмещенная обработка внутренних цилиндрических поверхностей растачиванием и виброкатыванием. Минимальный диаметр обрабатываемых этим способом отверстий составляет 60—80 мм.

Совмещение операций предварительной обработки резанием и виброкатыванием осуществимо и для плоских поверхностей.

Рассмотренные схемы виброкатывания безусловно не исчерпывают все возможные варианты. По мере развития регуляризации микрорельефов и расширения области применения способа виброкатывания будут разрабатываться и сейчас уже создаются новые схемы. Эти работы нужно вести в направлении расширения возможностей образования регулярных микрорельефов, универсализации способов их создания, повышения производительности, механизации и автоматизации.

Оборудование и оснастка. Поскольку до последнего времени процесс виброкатывания применялся главным образом в мелкосерийном и реже — в серийном производстве, для его осуществления использовались универсальные металлообрабатывающие станки, к которым проектировались виброголовки различной конструкции. Наибольшее распространение получили виброголовки к токарным станкам для обработки деталей — тел вращения, меньшее — к фрезерным, координатно-расточным, строгальным, шлифовальным. Даже в условиях серийного и крупносерийного производства, когда затраты на создание специального станка могут окупиться, чаще всего используют универсальные, напри-

мер, токарные станки типа 1К-62 с широким диапазоном варьирования частоты вращения шпинделя и подач для регулирования в больших пределах значений всех параметров регулярного микро-рельефа.

Для обработки плоских поверхностей, например направляющих станин станков-автоматов продольного точения, используют координатно-расточной станок 2В-40. При обработке направляющих большой протяженности используются продольно-строгальные станки.

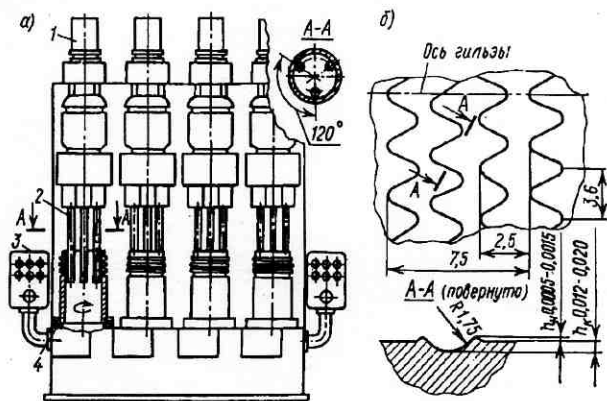


Рис. 11. Схема полуавтомата (а) и выдавливаемых канавок (б):
1 — виброголовки; 2 — державка; 3 — пульт управления; 4 — патрон для закрепления заготовки гильзы

Вибронакатывание сферических поверхностей производят на базе токарных станков. Также на базе токарных станков создаются установки для вибронакатывания червяков, червячных и зубчатых колес. В последнее время для вибронакатывания различных деталей машин в крупносерийном и массовом производстве начали создавать специальные станки полуавтоматического и автоматического действия. Так, на Ярославском моторном заводе спроектированы и изготовлены специальные четырехшпиндельные полуавтоматы для вибронакатывания систем канавок на внутренней цилиндрической поверхности термически обработанных гильз дизелей.

Схема полуавтомата для обработки гильз и расположения шаров в виброголовках приведены на рис. 11.

Вологодским политехническим институтом спроектирован и изготовлен для Вологодского подшипникового завода специальный станок для вибронакатывания наружной сферической поверхности беговых дорожек колец шарикоподшипников.

Спроектированы и изготовлены малогабаритные прокатные станы для образования на холоднокатаных листах и лентах об-

ратного выпуклого микрорельефа при прокатке в вибронакатанных валках.

Приводим краткое описание наиболее широко применяемых в промышленности, а также наиболее перспективных конструкций виброголовок.

Виброголовки для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конических и торцовых поверхностей. Виброголовки этого вида, как правило, конструируются к токарным станкам. В этом случае реализация кинематической схемы вибронакатывания (см. рис. 2, б) существенно упрощается, так как для вращения заготовки и поступательного перемещения виброголовки с деформирующим элементом в направлении подачи используются главное и вспомогательное движения токарного станка. Таким образом, основным назначением виброголовки является осуществление осцилляционного движения деформирующего элемента. Приводы осцилляционного движения могут быть семи видов [15]. Однако наибольшее применение получил механический привод, отличающийся простотой и надежностью. Первая виброголовка к токарному станку для обработки наружных цилиндрических и торцовых поверхностей (конструкция ЛИТМО) имела эксцентриковый привод, при этом деформирующий элемент совершал осцилляционное движение по дуге окружности. В дальнейшем головка была в ЛИТМО модернизирована, эксцентриковый привод сохранился, однако деформирующий элемент совершал осцилляционное движение параллельно оси обрабатываемой заготовки. Головка (рис. 12) получила широкое применение благодаря универсальности, простоте, надежности, невысокой стоимости.

Корпус головки сварной конструкции состоит из трех основных частей: втулки 10, угольника 24 и основания 22. Угольник служит для установки и закрепления головки. На основании корпуса установлен электродвигатель 23 типа АОЛ-22-4 ($N = 0,4$ кВт, $n = 10$ рад/с).

Вращение вала электродвигателя с помощью сменного эксцентрика 19 преобразовывается в возвратно-поступательное движение штока 9 с шариковой головкой (вместо шариковой головки может быть установлен алмазный или твердосплавной накопчик).

Шариковая головка состоит из рабочего шара 5, опирающегося на наружное кольцо шарикового подшипника 6, который вращается на оси 7, запрессованной и стопорящейся винтом 2 в корпусе 8 сепаратора-колпачка 4, удерживающего шар от выпадания. Резьбовое кольцо 3 фиксирует положение, которое должно обеспечить свободное вращение шара при минимальном зазоре между ним и стенками сепаратора. Своим хвостовиком шариковая головка устанавливается в отверстие штанги 9 и закрепляется винтом 1.

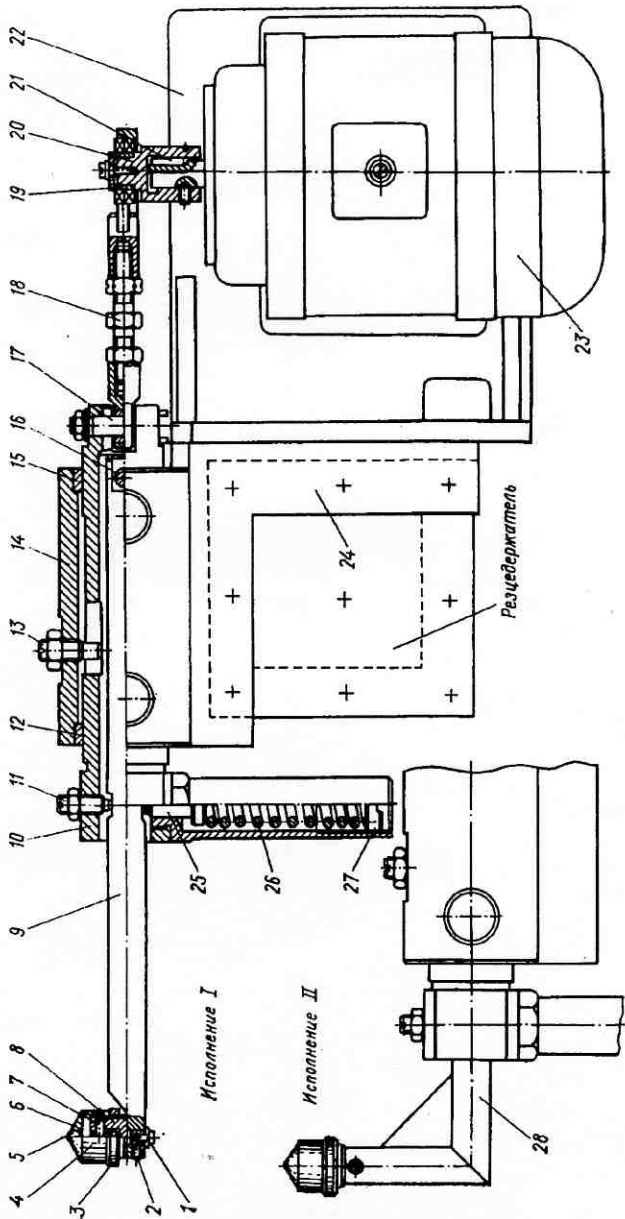


Рис. 12. Виброголовка к токарному станку

Штифтом 16 шток шарнирно соединен со втулкой 10. Наклон оси штока ограничен с одной стороны винтом 13 и с другой стороны — винтом 11, передающим усилие тарированной пружины 26 на шток.

Втулка 10 при помощи оси 17 и регулируемой гайкой 18 по длине тяги связана со сменным эксцентриком 19.

При вращении вала электродвигателя, сидящая на шпонке 21 втулка 20, а вместе с ней и шток 9 с шариковой головкой совершают возвратно-поступательное движение параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки с числом осцилляций, равным частоте вращения вала двигателя, и длиной хода, равной двойному эксцентриситету эксцентрика 19. Винт 13 предотвращает

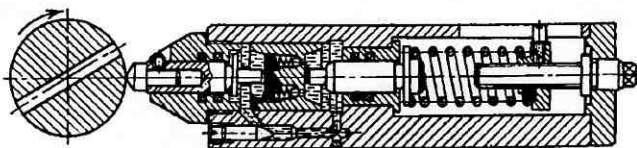


Рис. 13. Державка для обработки прерывистых поверхностей

поворот втулки 10 в направляющих вкладышах 12 и 15, установленных во втулке 14¹.

Величина усилия давления шара на обрабатываемую поверхность определяется степенью предварительного сжатия тарированной пружины 26 и зависит от соотношения расстояний между осью шара и осью винта 11 и наконечника 25.

Резьбовая пробка 27 служит для предварительного сжатия пружины. Окончательная установка на необходимое для накатывания давление осуществляется дополнительным перемещением всего приспособления в направлении, перпендикулярном оси вращения заготовки. При этом шток 9 отходит от головки винта 11.

Описанное исполнение I приспособления применяется для вибронакатывания внутренних цилиндрических поверхностей диаметром от 50 мм и более на глубину до 125 мм; исполнение II предназначено для вибронакатывания наружных цилиндрических поверхностей. В этом случае шток 9 заменяется штоком 28.

Для обработки глубоких отверстий в гильзах, трубах и других деталях применяется виброголовка более жесткой конструкции².

При вибронакатывании прерывистых поверхностей, в особенности алмазными и твердосплавными наконечниками, когда возникает опасность их разрушения, в держателях виброголовок могут закрепляться державки типа показанной на рис. 13³,

¹ В более поздней конструкции цилиндрическая направляющая заменена направляющей типа «ласточкин хвост».

² Разработана СибгосНИТИ (научно-исследовательский тракторный институт).

³ А. с. № 349574.

в корпусе которой помимо пружины установлен гидравлический демпфер, предохраняющий наконечник от резких ударов при переходе с цилиндрических участков обрабатываемой поверхности на участки пересекающих ее пазов, отверстий, шлицов, лысок.

Некоторые трудности возникают при вибронакатывании отверстий в деталях типа крупногабаритных корпусов, блоков, сложной формы кронштейнов и других подобных деталей машин и приборов. Трудности связаны со сложностью или невозможностью придания вращательного движения заготовке. В этих случаях все движение, в том числе и вращательное, необходимо придавать виброголовке и производить обработку по схеме (рис. 14, а). Конструкция трехшариковой виброголовки к сверлильному станку А135 для обработки отверстий диаметром 100 мм в блоке цилиндров автомобильного двигателя показана на рис. 14, б. Поскольку процесс вибронакатывания все шире применяется в серийном и крупносерийном производствах, в частности, при обработке гильз двигателей, штоков и гидро- и пневмоцилиндров, при декоративной обработке, а также при обработке таких крупногабаритных деталей, как прокатные валки, трубы и валы большой длины, необходимо повышение производительности. Основные пути решения этой задачи: а) применение многоэлементных виброголовок; б) использование многопозиционных станков; в) применение скоростных виброголовок.

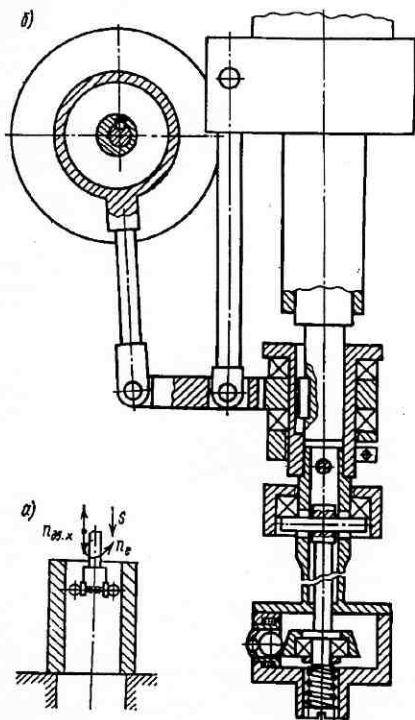


Рис. 14. Схема (а) и виброголовка (б) для вибронакатывания отверстий в корпусных деталях

Многоэлементные виброголовки применяются двух видов: с расположением деформирующих элементов по окружности и в ряд. Площадь, перекрываемая выдавливаемыми деформирующим элементом канавками, при прочих равных условиях пропорциональна их числу. Таким образом, применяя взамен одного элемента два, три или более одновременно работающих элемента,

определенным образом расположенных относительно друг друга, можно увеличить в два, три или более раз подачу виброголовки вдоль оси обрабатываемой заготовки и тем самым повысить производительность обработки. На рис. 15, а показана конструк-

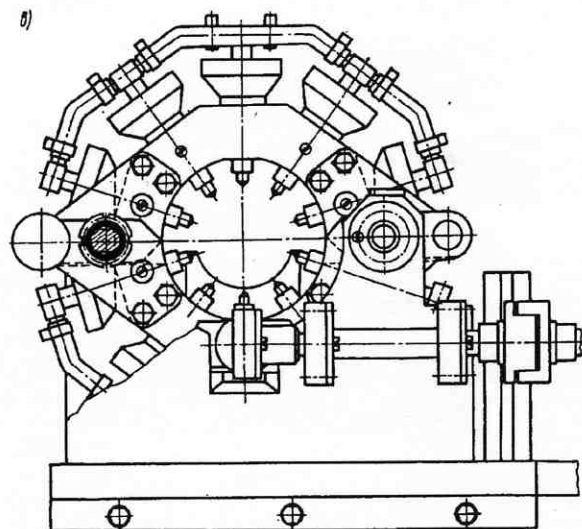
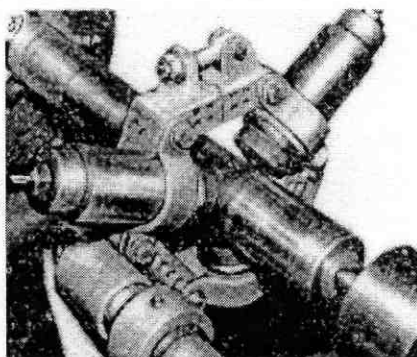
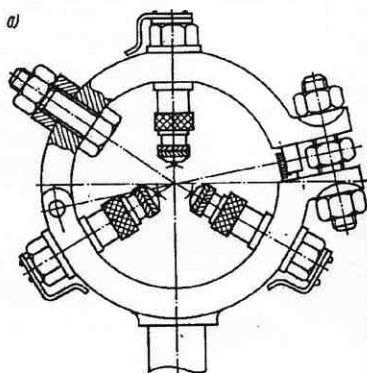


Рис. 15. Многошариковые виброголовки

тивная схема трехшариковой головки с шарами, расположенными по окружности через 120° , а на рис. 15, б — вибронакатывание гидроштокв при помощи виброголовки, работающей по такой схеме (Варненский завод Елпром в НРБ). Расположение шаров в одной плоскости через 120° обеспечивает взаимогашение радиальных усилий, создаваемых каждым из трех шаров. Это позволяет

вести высокопроизводительное вибронакатывание шарами большого диаметра (20 мм) с нагрузкой на шар, равной 882,9 Н (обычно применяются шары диаметром 4—8 мм, нагрузка на шар не превышает 392, 4 Н), без деформирования относительно маложестких штоков (диаметр 40 мм, длина 700 мм). В настоящее время созданы десятишариковые (рис. 15, в)¹ и пятидесятишариковые виброголовки.

Примером многоэлементной виброголовки с расположением шаров в ряд является головка с восемью сферическими алмазными наконечниками, созданная Ждановским металлургическим инсти-

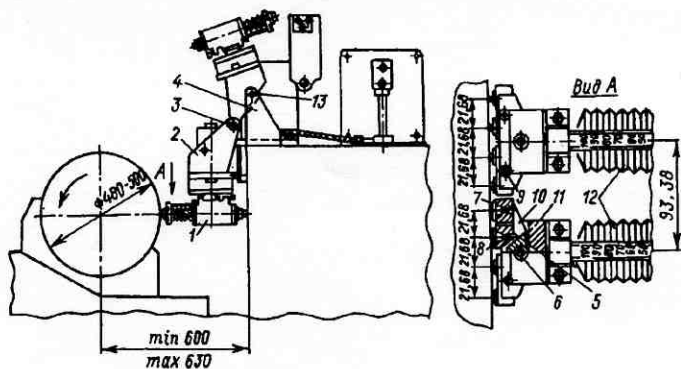


Рис. 16. Виброголовка с восемью расположенными в ряд алмазными наконечниками

тутом и применяемая на Ждановском металлургическом заводе им. Ильича. Виброголовка (рис. 16) применяется для вибронакатывания прокатных валков четырехклетового стана 1700, имеющих большую площадь обработки ($d = 500$ мм, $L = 1700$ мм). Она изготовлена на базе суперфинишной головки. Глубина выдавливаемых канавок 4—6 мкм.

Головку 1 устанавливают на шлифовальной бабке вальцешлифовального станка модели 3415Е при помощи сварной рамы 2, которая посредством шарнирного соединения 3 может занимать два положения.

В нерабочее положение головка ставится при шлифовании валков и фиксируется на кронштейне 4 болтом 13. Механизм осцилляции приводится в движение от электродвигателя типа АОЛ-12-4-С2. При помощи эксцентриков и шатунов вращательное движение в механизме осцилляции преобразуется в возвратно-поступательное движение двух стержней 12 в противофазе друг к другу. Число двойных ходов стержней равно частоте вращения

¹ Разработана в Московском институте нефтехимической и газовой промышленности им. акад. Губкина.

($n = 147$ рад/с), а ход — удвоенному эксцентриситету эксцентриксов механизма осцилляции ($l = 5$ мм).

В корпусах державок 11, жестко установленных на стержнях 12, шарнирно на осях 6 закреплены два коромысла 10. В коромыслах тоже шарнирно на осях 9 расположено по два держателя 5, оснащенных каждый двумя алмазными наконечниками 7, поджатыми резьбовыми втулками 8.

Расстояние между наконечниками 7 выбрано так, чтобы траектории четырех выглаживателей второго стержня 12 при заданном

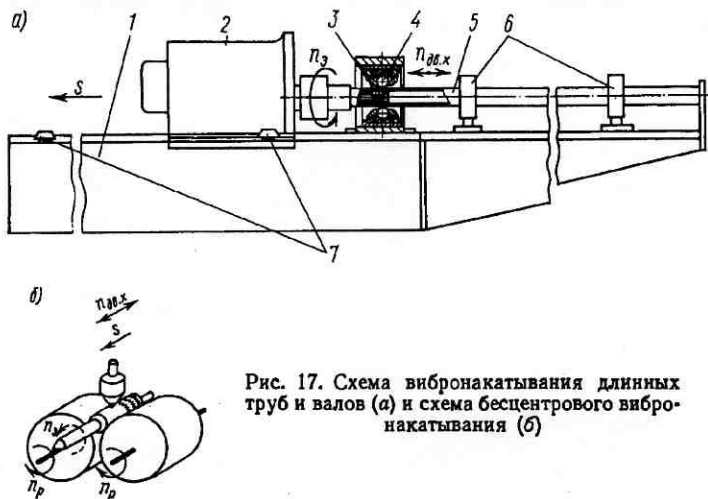


Рис. 17. Схема вибронакатывания длинных труб и валов (а) и схема бесцентрового вибронакатывания (б)

режиме обработки проходили в промежутках между траекториями четырех наконечников первого стержня. Усилие прижима наконечников на каждом из двух стержней устанавливается независимо друг от друга и контролируется по указателям на стержнях. При обработке вибронакатыванием деталей большой длины (более 500 мм) типа труб и валов может быть применен предложенный автором вибронакатной станок¹ с несколькими, расположенными в ряд виброголовками, работающий по схеме, показанной на рис. 17, а. Разжимная цанга 3 вводится в отверстие заготовки трубы 5, вращаемой от электродвигателя 2, и тянет ее в направлении продольной подачи $s_{пр}$ через вибронакатную многошариковую (шарики расположены по окружности) виброголовку 4 в люнетах 6; вибронакатных головок может быть две, три и более. Подвижная шпиндельная головка с приводным двигателем 2 и неподвижная виброголовка 4 установлены на станине 1. Ход

¹ Станок с тремя расположенными в ряд виброголовками разработан на заводе «Теплоприбор» (г. Улан-Уде) и применялся для декоративной обработки труб диаметром 20 мм, длиной 3 м.

подвижной головки ограничен упорами 7. Высокая производительность достигается в данном случае за счет большого числа деформирующих элементов в каждой виброголовке, применения нескольких виброголовок, работы на скоростных режимах ($n = 525$ рад/с). Высокая производительность вибронакатывания может быть достигнута за счет сочетания применения большого числа деформирующих элементов и высоких режимов обработки, но иным путем, а также за счет использования несколько модернизированного способа динамического упрочнения шарами. Как и при динамическом наклепе, деформирующие шары устанавливаются в радиально расположенных отверстиях сепаратора 2 быстро вращающегося диска 3 (рис. 18). При сближении с заготовкой 1 шары производят по ней дискретные удары и в зависимости от соотношения скоростей движений n_3 и s образуют на ее поверхности «узор» из отдельных лунок или полностью новую высокогладкую поверхность.

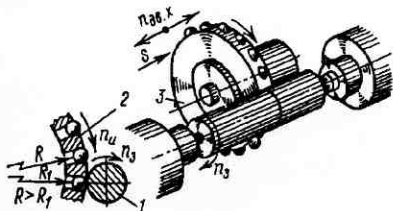


Рис. 18. Схема динамического вибронакатывания

До последнего времени этот процесс применялся только для выглаживания и упрочнения поверхностного слоя. В ЛИТМО

спроектирована головка, у которой на движения вращения заготовки и инструмента и его подачи накладывается осцилляционное движение инструмента — диска в направлении подачи, что позволяет расширить варьирование параметров создаваемого регулярного микрорельефа и повысить производительность обработки.

Для обработки торцовых поверхностей по схеме, приведенной на рис. 5, г, чаще всего используется та же головка, что и для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей (см. рис. 12) с соответствующей перестановкой в суппорте токарного станка этой головки относительно заготовки. При вибронакатывании используется поперечная подача токарного станка. По-видимому, возможности совершенствования схем, способов, оборудования и оснастки для образования регулярных микрорельефов на поверхностях деталей — тел вращения — далеко еще не исчерпаны.

Виброголовки для обработки плоских поверхностей. При обработке вибронакатыванием плоских поверхностей относительно небольшой длины (до 500—800 мм) используются вертикально-фрезерные станки, при обработке поверхностей большей протяженности — поперечно- или продольно-строгальные. Для строчечного способа обработки по схеме рис. 7 применяется виброголовка (рис. 19), для способа полного перекрытия обрабатываемой поверхности за один про-

ход (по схеме на рис. 20, а) виброголовка — на рис. 21, а по схеме на рис. 20, б — виброголовка на рис. 22.

Виброголовка для строчечного вибронакатывания (рис. 19)¹ своим основанием б устанавливается на суппорте продольно-строгольного станка. Шариковая головка 9 обычного типа с опорой шара 8 на шарикоподшипник 7 установлена в каретке 5, перемещающейся возвратно-поступательно по шариковым направляющим относительно вилки 4. Осцилляционное движение передается каретке 5 через кронштейн 10, к которому шарнирно через палец 3 прикреплен шатун 2, получающий качательное движение от кривошипа, сидящего на одной оси со шкивом 1 ременной передачи. Изменение

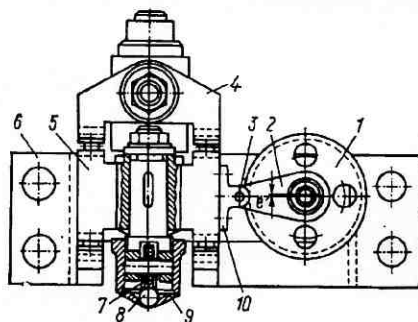


Рис. 19. Виброголовка для обработки плоских поверхностей строчечным способом

характеристик микрорельефа (площади канавок, их шага) производится варьированием числа двойных ходов и амплитуды колебания шара, скорости продольного перемещения стола и поперечной подачи суппорта станка.

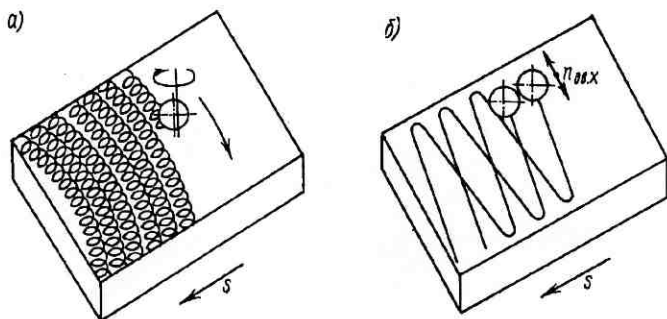


Рис. 20. Схемы вибронакатывания плоских поверхностей способом полного перекрытия за один проход по всей ширине

Недостатками строчечной обработки являются относительно низкая производительность (за один двойной ход обрабатывается узкий участок поверхности) и трудности, связанные с необходимостью обеспечить совпадение синусоидальных канавок, образуе-

¹ Разработана в Брянском институте тяжелого машиностроения.

мых шаром при каждом ходе стола станка. Эти недостатки определяют целесообразность применения во всех случаях, когда это возможно, виброголовки, работающих по схеме полного перекрытия обрабатываемой поверхности по ширине за один проход. Такое вибронакатывание плоских поверхностей осуществляется по двум схемам: с образованием канавок, расположенных по циклоиде (рис. 20, а) и по синусоиде (рис. 20, б).

Конструкция виброголовки, работающей по первой схеме, показана на рис. 21¹. В последнее время более широкое применение в промышленной практике получила виброголовка, работающая по схеме на рис. 20, б, как более производительная и конструктивно простая. Конструкция многошариковой виброголовки, образующей на плоской поверхности систему синусоидальных канавок, показана на рис. 22². Корпус 5 жестко крепится к гильзе шпинделя вертикально-фрезерного или расточного станка при помощи хомута стяжным болтом 6. Осцилляционное движение от шпинделя станка передается головке 2 с шариками через регулируемое эксцентриковое устройство 4 и тягу 3.

Многошариковая державка (каждый шарик опирается на шарикоподшипник) упруго поджимается к обрабатываемой поверхности тарированной пружиной 1, предварительный натяг которой создается гайкой 7.

На рис. 23, а—г показаны варианты систем канавок, расположение которых определяется числом и расположением деформирующих элементов и режимом обработки.

Регулярный микрорельеф на плоских поверхностях листов и лент создается разработанным в ЛИТМО способом³ холодной

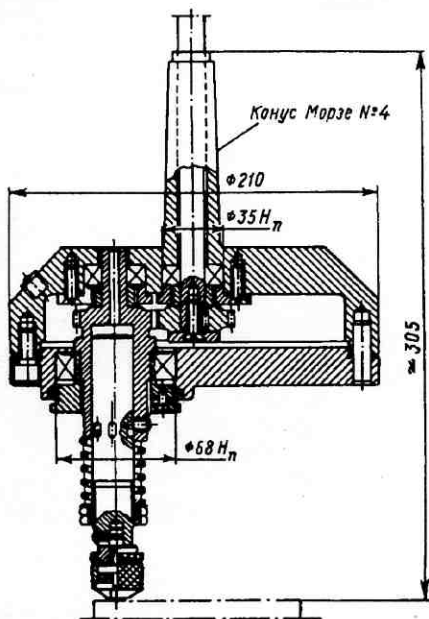


Рис. 21. Виброголовка для обработки плоских поверхностей с расположением выдавливаемых канавок по циклоиде

¹ Конструкция ЛИТМО и ЛОМО. А. с. № 319455.

² Разработана в ЛИТМО.

³ А. с. № 500833.

прокатки в вибронакатанных валках. Регулярный микрорельеф можно образовать только с одной стороны (второй валок гладкий) или с обеих сторон (оба валка вибронакатаны). В результате про-

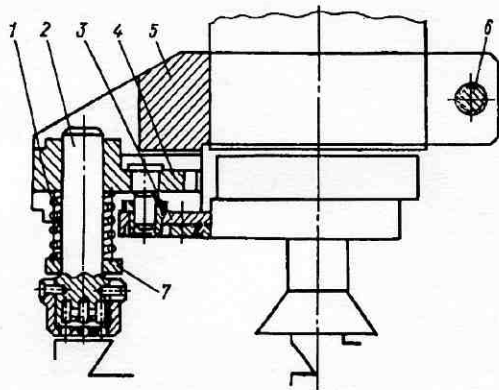


Рис. 22. Виброголовка для обработки плоских поверхностей с расположением выдавливаемых канавок по синусоиде

катки на листах и лентах выдавливается негативный выпуклый отпечаток микрорельефа прокатных валков, профилограмма которого показана на рис. 47, а, внешний вид — на рис. 47, в.

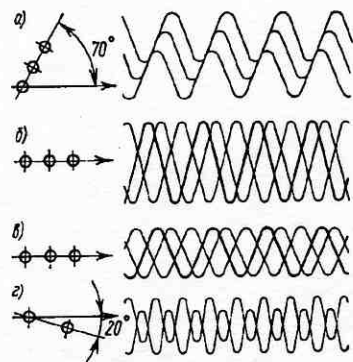


Рис. 23. Варианты систем вибронакатанных на плоской поверхности канавок при различном числе деформирующих элементов, режиме обработки

В настоящее время прокатка производится в специальных малогабаритных настольных станах с валками длиной 80—200 мм. В дальнейшем для выпуска листов и лент с заданными эксплуатационными характеристиками холодная прокатка может осуществляться на обычных станах для холодной прокатки. Крупногабаритные валки могут вибронакатываться при помощи высокопроизводительной виброголовки (см. рис. 16).

Виброголовки для обработки профильных поверхностей. Регулярный микрорельеф может быть создан практически на любых профильных поверхностях: сферических, тороидальных, эвольвентных и других, т. е. на поверхностях любой формы, которые могут быть обработаны традиционными способами обработки резанием и пластическим деформированием. Создано большое число схем и конструкций виброголовок для вибронакатывания профильных поверхностей

различных деталей машин и приборов. Рассмотрим лишь некоторые из наиболее совершенных и перспективных, апробированных в производственных условиях виброголовок.

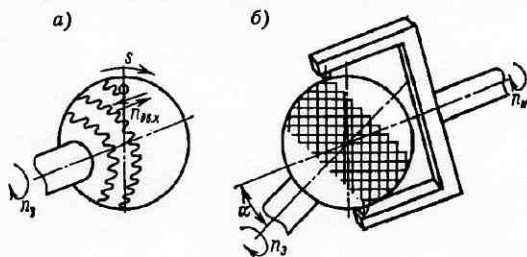


Рис. 24. Схемы вибронакатывания выпуклых сферических поверхностей: *а* — одним шаром; *б* — двумя шарами

На рис. 24 показаны две схемы вибронакатывания выпуклых сферических поверхностей. Конструкция виброголовки¹ стационарного типа для декоративной обработки вогнутой сферической поверхности рефлекторов нагревательных печей, созданная на базе револьверного станка, показана на рис. 25.

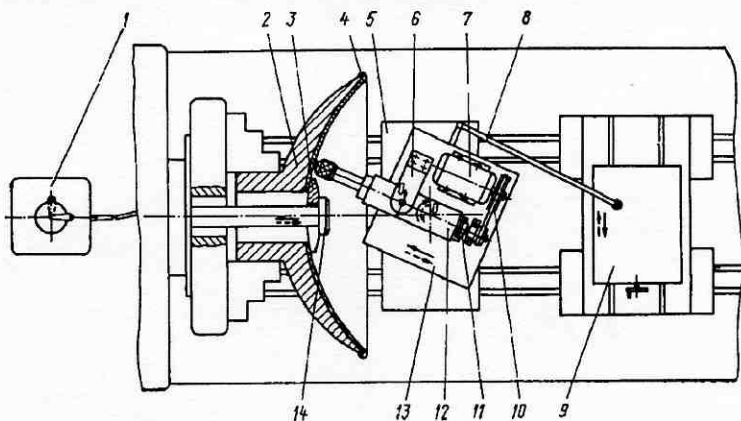


Рис. 25. Виброголовка для обработки вогнутой сферической поверхности

Заготовка рефлектора 4 устанавливается на оправке 2 и закрепляется при помощи быстросъемной шайбы 3, прижимаемой штоком 14 пневматического зажимного устройства 1. Виброголовка своим основанием 5 устанавливается на направляющих револьверного станка (револьверная головка снимается). Вибро-

¹ Разработана в ЛИТМО.

накатывание осуществляется тягой 8, прикрепленной одним концом к поводку поворотного основания 13, а другим — к поперечному суппорту 9 станка. При включении автоматической поперечной подачи суппорт перемещается и тяга 8 поворачивает виброголовку, установленную на основании 13, вокруг оси с центром O , закрепленной на неподвижном основании. Одновременно со станком включается электродвигатель 7, от вала которого через ременную передачу 10

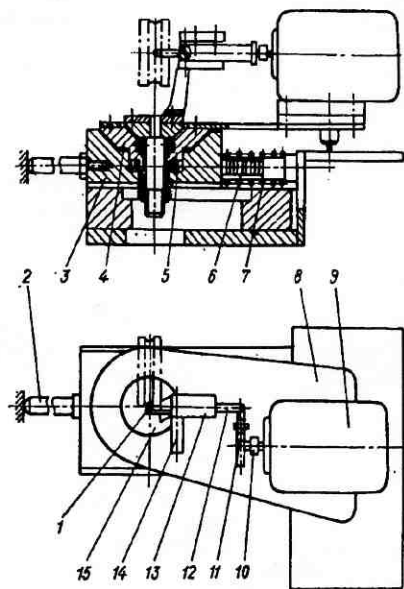


Рис. 26. Виброголовка для обработки вогнутой тороидальной поверхности

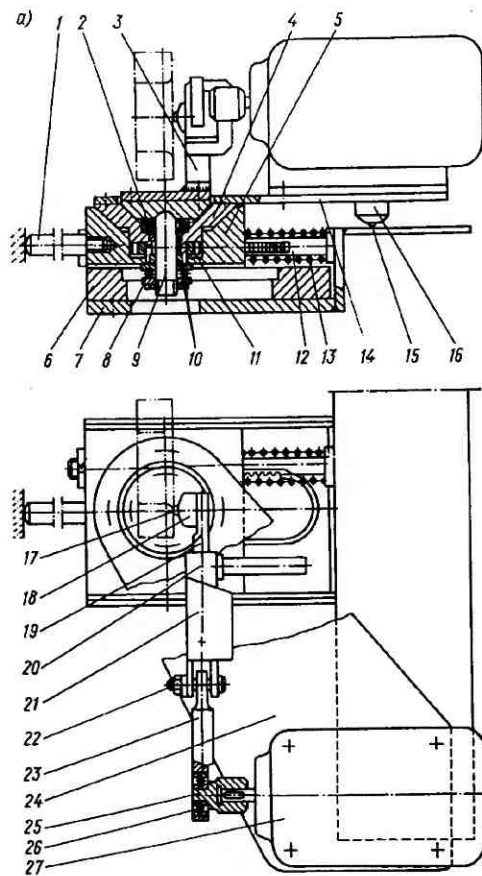
вращается вал с эксцентрично посаженным подшипником 11, передающим осцилляционное движение вилке 12 с закрепленной в ней поворотной головкой относительно оси O в подшипниках, установленных в кронштейне 6. Поджатие шариковой головки с шаром к обрабатываемой поверхности заготовки рефлектора производится перемещением основания 5 по направляющим станка при помощи рычага (на рисунке не показан).

На рис. 26 приведена конструкция виброголовки¹ к станку 1К62 для обработки вогнутой тороидальной поверхности кольца шарикоподшипника. Эта головка также стационарного типа. Движение огибания деформирующего элемента 1 проис-

ходит при поперечной подаче суппорта в момент касания регулируемого упора 2 с передней бабкой станка. От упора движение подачи передается ползуну 3 и преобразуется во вращательное движение чашки 4 при помощи шестерни 5 и зубчатой рейки 6. При этом происходит сжатие пружины возврата 7 приспособления в исходное положение. Основание 8, связанное с чашкой, осуществляет движение вокруг оси совместно с двигателем 9, узлом осцилляции, головкой и деформирующим элементом. Осцилляция деформирующего элемента по криволинейной поверхности осуществляется от двигателя, на валу которого укреплен сменный эксцентрик 10, связанный через тягу 11 с корпусом головки 12. Корпус головки крепится в стойке 13, связанной со свободно вращающейся чаш-

¹ Разработана ЛИТМО и Вологодским политехническим институтом.

кой 15. Давление на инструмент создается тарированной пружиной 14. Настройка деформирующего элемента на требуемый радиус осуществляется при помощи специальных оправок.



Универсальное поворотное устройство конструктивно может быть выполнено аналогично приспособлению для обработки торондальных поверхностей (рис. 27, а). Это приспособление предназначено для вибронакатывания торондальных и шаровых поверхностей, в частности матриц вытяжных штампов, но может быть использовано для обработки других деталей. Оно состоит из основания 7 с косынкой 24, устанавливаемого на основании поперечного суппорта токарного станка, направляющей 6, суппорта 5. В суппорт вмонтированы шпиндель поворота 4, неподвижно закрепленная на нем шестерня 11, рейка 12,

Рис. 27. Универсальная виброголовка для обработки торондальных поверхностей (а), схема подключения к виброголовке двигателя постоянного тока (б)

находящаяся в зацеплении с шестерней, пружина 13, упор 1, шпиндель 9 на подшипниках качения 2, 8 и подшипниках скольжения 10. На шпинделе 9 установлена державка инструмента 3, в которой закреплена прямоугольная пустотелая колодка 20. В колодке 20 установлена штанга 19, на конце которой — обойма 18 с рабочим шаром 17 или алмазным наконечником. Привод обоймы 18 с рабочим шаром 17 осуществляется от электродвигателя 27 через

сменный эксцентрик 25, подшипник качения 26, тягу 23, которая вторым концом с помощью оси 22 соединена с проушиной корпуса 21 колодки 20. Электродвигатель 27 установлен на поворотной платформе 14, которая одним концом крепится к шпинделю поворота 4, а вторым — через обойму 16 и шар 15 опирается на верхнюю плиту основания 7 и движется по нему. Обрабатываемая заготовка (показана штрих-пунктиром), поверхность которой представляет собой тороид или шар, закрепляется в шпинделе станка. Рабочий шар 17 выставляется по оси детали по радиусу обрабатываемой тороидальной поверхности или шара с заданным натягом. Упор 1 вводится в соприкосновение с поверхностью передней бабки станка. Включением продольной подачи суппорту станка и основанию 7 виброголовки придается движение влево. Но суппорт, опираясь упором 1 в поверхность передней бабки станка, остается на месте и скользит по направляющей 6. Рейка 12, упираясь задним концом в стенку основания упором 1, движется вместе с ним влево и, находясь в зацеплении с шестерней 11, придает ей вращательное движение. Шестерня 11, закрепленная неподвижно на шпинделе поворота 4, сообщает ему вращательное движение, и с помощью закрепленной на нем поворотной платформы 14 это движение через электродвигатель 27, сменный эксцентрик 25, подшипник качения 26, тягу 23, колодку 20, штангу 19, обойму 18 передается рабочему шару 17; шар описывает кривую, радиус которой равен радиусу тороидальной поверхности или шара. При включении электродвигателя 27 обойма с шаром совершает осцилляционное движение по дуге окружности. Это движение передается шпинделю 9 через сменный эксцентрик 25, подшипник качения 26, тягу 23, колодку 20 и штангу 19, закрепленную в державке инструмента 3.

Таким образом, шар совершает относительно тороидальной или шаровой поверхности детали сложное движение, траектория которого представляет собой систему синусоидальных кривых, расположенных на тороидальной или шаровой поверхности.

Схема подключения виброголовки к двигателю постоянного тока показана на рис. 27, б. Обмотка возбуждения *ОВ* двигателя постоянного тока подключается к стабилизированному источнику постоянного тока непосредственно, а обмотка якоря *Я* — через потенциометр *П*. Перемещение потенциометра вызывает плавное изменение напряжения, подаваемого на обмотку якоря, и тем самым плавно изменяется частота вращения двигателя виброголовки и соответственно числа двойных ходов (осцилляций) головки с деформирующим элементом.

В тех случаях, когда необходимо изменять по определенному закону число осцилляций деформирующего элемента (при вибронакатывании торцовых и тороидальных поверхностей с равномерной по частоте сеткой или цилиндрических поверхностей с переменной по частоте сеткой на различных вдоль оси участках), к головке пристраивается специальное устройство, управляющее

по заданной программе изменением частоты вращения двигателя и соответственно числа осцилляций шара или алмазного наконечника.

Вибронакатывание рабочих боковых поверхностей витка червяка производится по схеме¹, показанной на рис. 28: 1 — заготовка; 2 — деформирующий элемент. Деформирующему элементу придается осцилляционное движение относительно обрабатываемой винтовой поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях по касательным плоскостям, проходящим под углами наклона и подъема. Варьируя скорость и амплитуду колебательных движений, можно изменять вид микрорельефа и значения его параметров. Основные характеристики виброголовки: модуль обрабатываемых червяков 3—16 мм, частота осцилляции $n_{дв. \times}$ радиального направления 150—600, $n_{дв. \times}$ тангенциального направления 1000—5000 осцилляций, амплитуда перемещения в радиальном направлении 1—30 мм, в тангенциальном — 3—6 мм, усилие вдавливания 39—147 Н, мощность приводного двигателя 0,27 кВт.

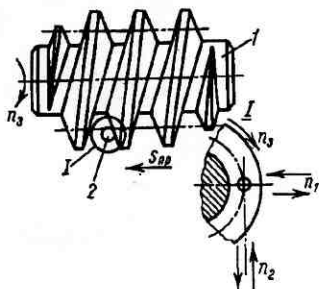


Рис. 28. Схема вибронкатывания червяка

Вибронакатывание рабочих поверхностей зуба зубчатых колес производится по схеме на рис. 29, а инструментом, показанным на рис. 29, б². На боковых поверхностях зубьев инструмента-колеса с помощью сепараторов закреплены в несколько рядов деформирующие элементы — шары, которые, вдавливаясь в боковые поверхности зуба обрабатываемого зубчатого колеса и совершая относительно него осцилляционное движение, образуют системы синусоидально расположенных канавок (рис. 29, в). Число рядов шаров и количество их в каждом ряду определяется модулем обрабатываемого зубчатого колеса, а также видом создаваемого микрорельефа и значениями его параметров. Инструмент может быть выполнен и в виде рейки. В настоящее время описанным способом обрабатываются зубчатые колеса с модулем более 5 мм; представляется возможным обрабатывать зубчатые колеса с модулем 3 и менее мм. По такому же принципу обрабатываются и червячные колеса.

Из приведенных конструкций виброголовок видно, что во всех случаях применяется механический привод осцилляционного движения. Это обусловлено не только его простотой и надежностью, но, по-видимому, и некоторой тяготеющей над конструкторами, проектирующими технологическую оснастку, инерцией

¹ Разработана в Ленинградском политехническом институте.

² Разработана в Тернопольском филиале ЛПИ.

предпочтения механики перед пневматикой, гидравликой, электроникой. Наряду с достоинствами механические приводы обладают рядом недостатков, снижающих эффективность как виброголовок, так и самого процесса вибронакатывания. К таким недостаткам относятся: 1) сложность регулирования числа осцилляций и осуществления бесступенчатого регулирования; 2) громоздкость направляющих устройств, большие потери в них на трение и малая износостойкость; 3) возникновение вибраций и шума при скоростных режимах вибронакатывания; 4) сложность стабилизации во времени режима обработки.

Первый недостаток приводит к необходимости варьирования параметров микрорельефа за счет таких параметров режима вибронакатывания,

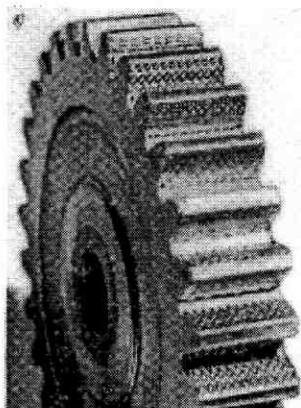
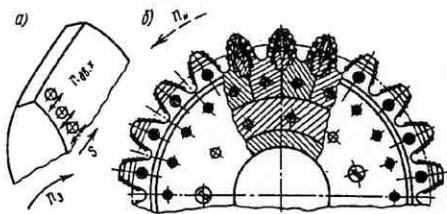


Рис. 29. Схема вибронакатывания зубчатого колеса (а), инструмент (б), вибронакатанное зубчатое колесо (в)

катывания, как частоты вращения n_0 и подачи s деформирующего элемента с помощью коробок скоростей и подач, например, токарного станка, в результате чего во многих случаях не удастся осуществить расчетный режим обработки, а метод перебора весьма трудоемок. Второй недостаток приводит первоначально к искажению синусоидальной формы выдавливаемых канавок и их взаиморасположения, а затем и к выходу виброголовки из строя.

Третий недостаток ограничивает возможности перехода на скоростное вибронакатывание.

Четвертый недостаток — обуславливает необходимость создания сложных, громоздких, дорогостоящих стабилизирующих устройств или работу с большими колебаниями значений параметров режима хотя бы из-за значительного перепада напряжения в сети, что приводит к искажению характеристик создаваемого регулярного микрорельефа.

Эти недостатки механического привода определяют необходимость его совершенствования и одновременно поиска других решений, в частности, более серьезного и тщательного исследо-

вания, испытания и доработки таких приводов, как пневматические, магнитомеханические, электромагнитные, электродинамические и др.

Ниже приведено краткое описание уже созданных некоторых конструкций виброголовок с пневматическим приводом, а также ряд электромагнитных и других приводов, успешно используемых в промышленности для различного вида вибраторов и других подобных устройств. Эти конструкции виброголовок и приводы могут служить исходными для совершенствования и доработки их до промышленных образцов оснастки.

На рис. 30 приведены три конструкции виброголовок с пневматическим приводом осцилляционного движения.

Одношариковая пневматическая виброголовка для обработки наружных поверхностей (рис. 30, а) состоит из корпуса 3 и перемещающегося в нем под действием попадающего из сети через штуцер 8 (рис. 30, в) воздуха цилиндра 5 и поршня. С цилиндром соединена шариковая оправка 2 со сменной одношариковой головкой 1 с шаром, опирающимся на шарикоподшипник или фторопластовый подпятник. Одношариковая виброголовка для обработки отверстий показана на рис. 30, б.

Двухшариковая виброголовка для обработки отверстий (конструкция завода «Пневматика» совместно с ЛИТМО) показана на рис. 30, в. Она состоит из двухшариковой головки 1 упругого действия, хвостовик которой скреплен с бойком 5 через направляющее кольцо 4. Головка с бойком и кольцом входит во втулку 3, которая скреплена со стволом 7 клепального молотка, ввинченного в державку 9. Державка 9 устанавливается и закрепляется в суппорте токарного станка.

Под действием воздуха, подаваемого из сети через штуцер 8, золотниковую крышку и золотник, ударнику 6 сообщается возвратно-поступательное движение, ударник толкает боек 5 и скрепленную с ним шариковую головку. Пружина 2 возвращает боек в исходное положение. Регулирование частоты осцилляции может производиться изменением давления подаваемого воздуха.

На рис. 30, в показана нерегулируемая на размер двухшариковая головка; ее применение экономически оправдано лишь в условиях серийного производства. В индивидуальном и мелкосерийном производствах целесообразно использовать универсальные двухшариковые раскатные головки для гладкого обкатывания [16, 18]¹, регулируемые на размер в значительных пределах после некоторой их модернизации для вибронакатывания.

Двухшариковые головки могут быть применены и в виброголовках с механическим приводом осцилляционного движения, в частности, при вибронакатывании отверстий на сверлильных и других станках по схеме хонингования (без вращения заготовки).

¹ Конструкция ЛИТМО. Запатентовано в Англии, Франции и Италии.

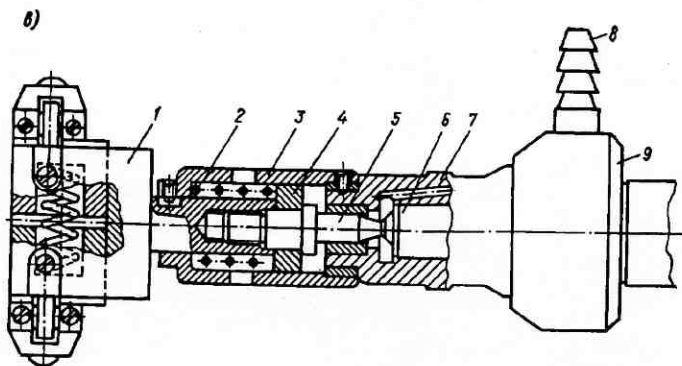
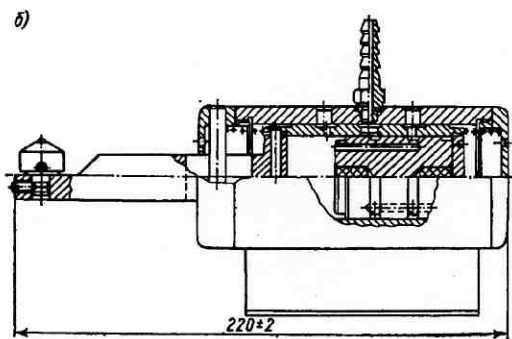
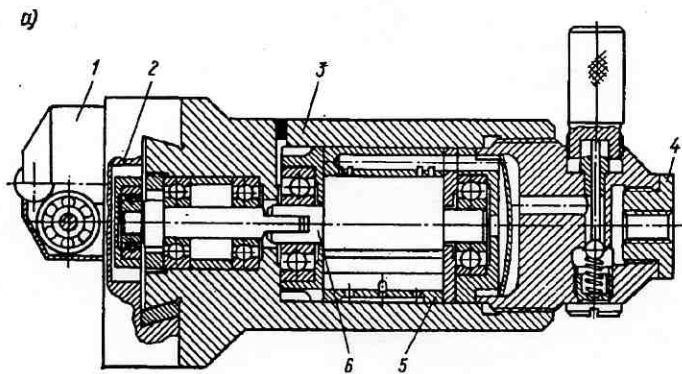


Рис. 30. Виброголовки с пневматическим приводом

Основным недостатком виброголовок пневматического действия является производимый ими значительный шум, достоинством — относительная простота конструкции и отсутствие необходимости в специальном приводном двигателе для осуществления осцилляционного движения деформирующего элемента.

На рис. 31 приведена схема магнитомеханического привода. В кольцевом воздушном зазоре, образованном магнитной системой, состоящей из ядра 1 и ротора 2, помещен якорь 3, выполненный в виде цилиндра. Постоянное магнитное поле создается электромагнитом, обмотки 4 которого расположены на полюсах 5. Оно может быть создано также и постоянным магнитом. Ротор по высоте полюсов разделен на две равные части 8, несущие равномерно расположенные зубья 6, установленные на его валу 7 под углом, равным половине угла зубцового деления.

Таким образом, половинки ротора и полюса образуют воздушные зазоры разных размеров и, следовательно, различного сопротивления. Вал ротора установлен в корпусе 9 возбuditеля на радиально-упорных подшипниках 10, а якорь — в подшипниках скольжения 11. В цилиндрической части якоря имеются вставки 12 из ферромагнитного материала, длина которых меньше высоты полюсов магнитной системы.

Когда зубья обеих половин ротора располагаются симметрично относительно вставок якоря, он находится в устойчивом механическом равновесии якоря, поскольку магнитное сопротивление вдоль разветвленных силовых магнитных линий, проходящих через половины ротора, одинаково. Магнитные энергии обоих магнитных потоков равны, а магнитные силы, действующие на вставки якоря, равны и направлены противоположно друг другу. Если ротор поворачивается, то выступы одной половины ротора и вставки якоря стремятся расположиться друг против друга и магнитное сопротивление в этой ветви уменьшается, а в ветви, образованной теми же вставками якоря и промежутками между выступов второй половины ротора, оно увеличивается. Разность магнитных сил вызовет смещение якоря в направлении, соответствующем еще большему уменьшению магнитного сопротивления. Когда выступы половины ротора и вставки якоря располагаются друг против друга, магнитное сопротивление в этой ветви оказывается минимальным, а усилие, действующее на якорь, макси-

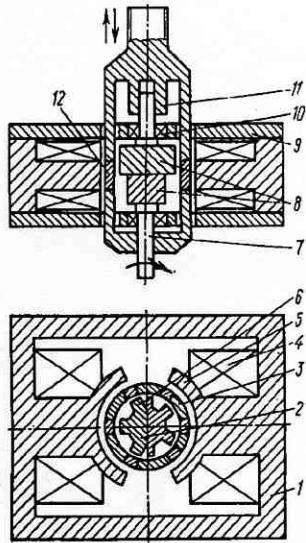


Рис. 31. Схема магнитомеханического привода осцилляционного движения

мальным. При дальне шем вращении ротора магнитные силы, действующие на якорь, уменьшаются. Магнитная и механическая энергия также уменьшаются до нового положения равновесия, в котором цикл повторяется с тем лишь различием, что усилие, действующее на якорь, становится направленным в противоположную сторону; ротор испытывает усилия, также направленные в противоположную сторону. Частота колебаний переменной силы зависит только от частоты вращения ротора и числа выступов на каждой его половине.

Преимущество такого привода в постоянстве создаваемого переменного усилия независимо от частоты его колебаний, простоте

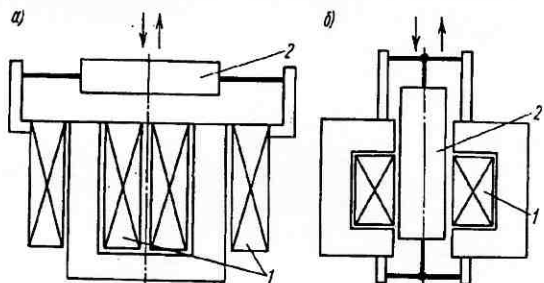


Рис. 32. Схемы электромагнитных приводов осцилляционного движения: *а* — с переменным воздушным зазором; *б* — с постоянным воздушным зазором и переменной эффективной площадью якоря

и надежности привода, поскольку обмотки электромагнита не участвуют ни во вращательном, ни в поступательном движениях; простоте регулирования переменной силы во всем диапазоне рабочих частот путем изменения тока возбуждения электромагнита; малом сопротивлении движению якоря.

Форма колебаний якоря может быть близкой к синусоидальной за счет соответствующего вида выступов ротора и вставок якоря. Максимальную частоту колебаний этих возбудителей можно довести до 25 000 Гц.

На рис. 32 показаны схемы электромагнитных приводов. Принцип их действия основан на том, что при протекании по обмоткам 1 переменного тока якорь 2 испытывает притяжение к полюсам (или втягивание в воздушный зазор) дважды за период переменного тока. Таким образом, частота колебаний переменного усилия, действующего на якорь привода, в два раза больше частоты переменного тока, питающего обмотку электромагнита. Диапазон рабочих частот 20—600 Гц.

На рис. 33 приведена схема электродинамического привода. Принцип работы электродинамического привода основан на взаимодействии тока, протекающего по проводнику, с постоянным магнитным полем. Магнитная система *б* привода состоит из цен-

трального керна 7 цилиндрического сечения, цилиндрического корпуса 8, нижнего ярма 10 и верхнего ярма 1, образующего с центральным керном кольцевой воздушный зазор 4, в который помещена подвижная катушка 5, соединенная со штангой 3. Штанга и подвижная катушка подвешены на упругих элементах 2, позволяющих им двигаться вдоль оси центрального керна, совпадающей с осью кольцевого воздушного зазора. Элементы 2, 3 и 5 образуют подвижную систему привода. Постоянное магнитное поле в воздушном зазоре создается отдельными частями магнитной системы (обычно центральным керном, корпусом, либо тем и другим вместе), выполненными из постоянных магнитов, либо катушкой подмагничивания 9, охватывающей центральный керн и питаемой постоянным током. Максимальная амплитуда колебаний до 12,5 мм, диапазон рабочих частот 0—10 000 Гц.

При отладке процесса вибрационного накатывания в производственных или лабораторных условиях необходимо учитывать, с какими отклонениями от теоретического расчетного регулярного микрорельефа можно встретиться и каковы причины их появления.

Основные виды отклонений от расчетного регулярного микрорельефа следующие:

- 1) несоответствие вида микрорельефа заданному расчетному;
- 2) искажение профиля элемента микрорельефа;
- 3) искажение взаиморасположения элементов;
- 4) отклонения от расчетных численных значений параметров микрорельефа;
- 5) нерегулярность микрорельефа на различных деталях в партии и на поверхности одной детали.

Основные причины, обуславливающие отклонения регулярного микрорельефа от расчетного, следующие:

- 1) геометрическая неточность станка (биение шпинделя, несоосность центров, неравномерность подачи);
- 2) несоответствие фактических значений частот вращения шпинделя и подачи суппорта станка табличным;
- 3) погрешность установки и выверки виброголовки и деформирующего инструмента;
- 4) погрешности виброголовки, обусловленные неточностью ее изготовления и износом движущихся деталей.

Поскольку наибольшее число отклонений связано с виброголовками, рассмотрим перечень наиболее часто встречающихся

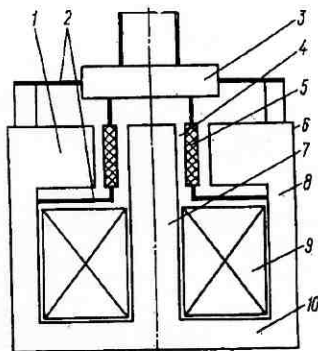


Рис. 33. Схема электродинамического привода осцилляционного движения

отклонений и способы устранения вызывающих их причин.

1. Образование площадки с одной стороны синусоидальной канавки (рис. 34, а). Такое отклонение профиля канавки от расчетного возникает в результате неправильной сборки и установки виброголовки в резцедержателе токарного станка, вследствие чего при осцилляции резцовая пробка 27 пружины 26 виброголовки (см. рис. 12) упирается в боковую поверхность резцедержателя и уменьшается по сравнению с расчетной амплитуда колебания штанги 9 с деформирующим элементом.

Для исключения этого дефекта следует при установке виброголовки предусмотреть гарантированный зазор между корпусом пружины и боковой стороной резцедержателя в крайнем правом

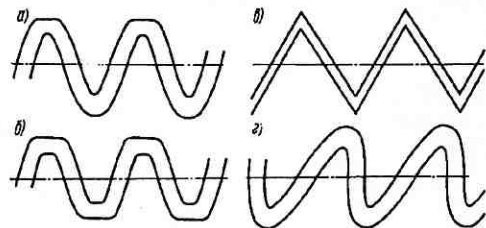


Рис. 34. Отклонения от расчетной (теоретической) формы канавок

положении виброголовки. Если эта рекомендация не выполнима, при установке виброголовки требуется регулировка положения корпуса пружины относительно резцедержателя с помощью гайки 18.

2. Образование площадки с двух сторон синусоидальной канавки (рис. 34, б). Такое отклонение (при отсутствии отклонения первого вида) может возникнуть в результате: наличия недопустимо больших люфтов в узлах крепления корпуса державки с деформирующим элементом в штанге 9, в оси 17 в соединении вал двигателя — эксцентрик, чрезмерно большого зазора между деформирующим шариком 5 и стенками сепаратора 4. В результате действия всех этих факторов уменьшается по сравнению с расчетной величина амплитуды колебания штанги с деформирующим элементом.

Устранение действия этих факторов достигается как правильной первоначальной отладкой и настройкой виброголовки (регулировка зазоров, проверка крепления двигателя), так и регулярной проверкой ее состояния в процессе эксплуатации. Во всех случаях зазоры не должны выходить за пределы значений, предусмотренных чертежом.

3. Образование заостренных вершин синусоидальной канавки (рис. 34, в). Это отклонение возникает в результате недопустимо больших зазоров в узлах винт 13 — втулка 10 (см. рис. 12) возвратно-поступательного движения и направляющая втулки 10 — вкладыш 12, а также в штифте шарнира 16. Исключение влияния этих дефектов достигается так же, как в предыдущем случае.

4. Образование «сваленной» синусоиды (рис. 34, г). Такое отклонение возникает в результате несовпадения осей заготовки

и направляющей втулки 10 или смещения штанги 9 с деформирующим элементом под действием усилия вибронакатывания ниже оси заготовки. Эта причина устраняется тщательной выверкой положения виброголовки относительно оси шпинделя станка и установкой ее несколько выше оси заготовки на величину, компенсирующую ее отжатие вниз под действием усилия вибронакатывания. Величина завывшения установки виброголовки является опытным путем.

5. Нестабильность «рисунка» и значений параметров микро рельефа на отдельных деталях партии или на отдельных участках детали. Две основные причины такого отклонения: а) изменение

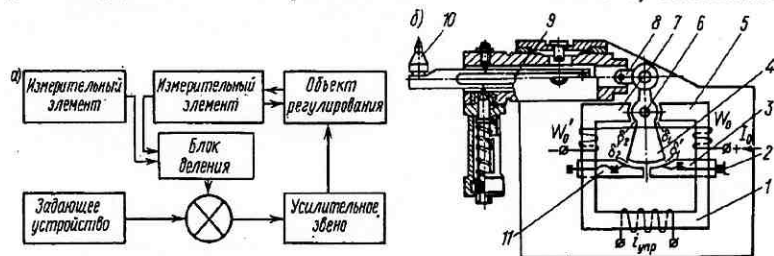


Рис. 35. Схемы электромагнитного привода виброголовки

режима питающей сети привода станка и двигателя виброголовки; б) неравномерность усилия вдавливания деформирующего элемента вследствие неоднородности жесткости системы СПИД при обработке мало- и неравножестких деталей.

В первом случае один вид регулярного микро рельефа может перейти в другой или внутри вида могут возникнуть отклонения от расчетного значения практически любого параметра микро рельефа. Во втором случае могут появиться отклонения формы и глубины выдавливаемой канавки. Влияние остальных причин, приводящих к нестабильности частично или полностью регулярного микро рельефа (разброс свойств обрабатываемых металлов, формы и размеров заготовок, их волнистости, шероховатости), в большинстве случаев пренебрежимо мало.

Исключение первой причины нарушения стабильности микро рельефа — стабилизация режима питания привода станка и двигателя виброголовки. Можно наметить три основных пути решения этой задачи: а) стабилизация значений параметров режима питающей сети; б) механическая стабилизация; в) создание адаптивной системы регулирования режима вибронакатывания.

На рис. 35, а¹ приведена структурная схема, на рис. 35, б — схема электромагнитного привода осцилляционного движения виброголовки со стабилизацией числа двойных ходов и амплитуды колебания деформирующего элемента. Это устройство состоит из

¹ А. с. № 614932, № 622657.

электромагнитной головки 1 с полюсными наконечниками 5 и 7, на сердечниках которых имеются обмотки W_0 и W'_0 , служащие для создания опорного магнитного потока.

Для управления частотой колебаний подвижного якоря 4 служат обмотки W_0 и W'_0 . Подвижный якорь 4 может колебаться вокруг неподвижной оси 6. Полюсные наконечники 3 и 11 с помощью маховика 2 перемещаются относительно друг друга в противоположные стороны. Подвижный якорь соединен штангой 8 с направляющими 9 и деформирующей головкой 10.

Устройство работает следующим образом. Пропуская постоянный ток I_0 через обмотки W_0 и W'_0 , создают равные постоянные опорные магнитные потоки, которые через подвижный якорь 4 и воздушные зазоры замыкаются в свои магнитопроводы, т. е. магнитные силовые линии, созданные обмоткой W_0 , от полюсного наконечника 5 замыкаются через воздушный зазор δ_1 подвижного якоря 4, воздушный зазор δ'_1 в полюсных наконечниках 3, а магнитные силовые линии, созданные обмоткой W'_0 , от полюсного наконечника 7 через воздушный зазор δ_2 подвижного якоря 4, воздушный зазор δ'_2 замыкается в полюсных наконечниках.

Поскольку $I_0 W_0 = I_0 W'_0$, якорь при отсутствии управляющего тока $i_{упр}$ будет занимать нейтральное положение.

Если управляющий ток изменяется синусоидально, то значение управляющего магнитного потока будет изменяться пропорционально току $i_{упр}$ и попеременно будет усиливать опорный магнитный поток через полюсные наконечники 5, 11 или через полюсные наконечники 3, 7; якорь в первом случае будет занимать правое положение, во втором — левое. Частота колебаний якоря будет зависеть от частоты управляющего тока. Меняя величину опорного магнитного потока, можно в широких пределах изменять вращающий момент и достигать высокой стабильности амплитуды колебаний, значение которой плавно регулируется при помощи маховика 2.

Другое решение задачи стабилизации режима вибронакатывания разработано на основе следящего электропривода в ЛИТМО (А. с. № 614932 — на способ и А. с. № 614933 — на устройство).

В настоящее время находятся в стадии проектирования несколько различных систем стабилизации режима вибронакатывания.

Анализ классификации и конструкций виброголовок свидетельствует не только о большом разнообразии схем их работы и конструкций, но и о большом числе факторов, определяющих их выбор в условиях производства.

В табл. 4 (составлена автором совместно с Е. И. Крыловым) приведены исходные данные для выбора оборудования, схемы и конструкции виброголовки при образовании регулярных микрорельефов в зависимости от конструкции обрабатываемой заготовки (форма, габаритные размеры, материал, твердость), типа

4. Исходные данные для выбора виброголовок

Исходные данные	Средство технологического оснащения		Рекомендуемые режимы обработки							
	Металлорежущие станки	Виброголовки	Инструмент	$d_{ш}, R_{н}, мм$	$l, мм$	$R, Н$	$n_{дв.х}, Гц$			
Форма обрабатываемой поверхности: цилиндрическая, коническая, торцовая, криволинейная, плоская	Токарно-винторезные, револьверные, карусельные, комбинированные	С механическим, электро-, гидро-, пневмоприводом осциллирующего движения	Шарики подшипниковые, твердосплавные выглаживатели, наконечники алмазные и из синтетических сверхтвердых материалов	1,0—1,5	2,0—5,0	150—300	500—900	13—47	50—100	100—150
	Копировально-фрезерные, вертикально-фрезерные			2,0—6,0	0,5—1,5	300—500	1,5—2,5	150—300	500—900	13—47
Вид рельефа: I — непересекающиеся канавки, II — касающиеся канавки, III — пересекающиеся канавки, IV — тетра-, гексагональный	Все виды станков для обработки деталей типа тел вращения и плоских	С одним деформирующим элементом	Жесткий или упругий	●	●	●	●	●	○	○
		С несколькими деформирующими элементами		●	●	●	●	●	○	○

Исходные данные	Средство технологического оснащения		Рекомендуемые режимы обработки					
	Металлорежущие станки	Виброголовки	Инструмент	$d_{ш}, R_{н}, мм$	$l, мм$	R, H	$l_{дв}, г$	
Твердость материала: $HRC \leq 40$ $HRC \geq 40$	Нормальной жесткости Повышенной жесткости	Шарики, алмазные наконечники	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	○
			● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	○
Тип производства: единичное и мелкосерийное серийное крупносерийное и массовое	Универсальные Универсальные и специализированные Специализированные и специальные	△	△	△	△	△	△	△
			●	●	●	●	●	●
			○	○	○	○	○	○

производства (единичное, серийное, массовое) и вида регулярного микрорельефа.

Приводим три примера пользования таблицей.

Пример 1. В условиях единичного производства необходимо вибронакатать на токарном станке частично регулярный микрорельеф с системой канавок первых трех видов на наружной цилиндрической поверхности деталей твердостью $HRC \leq 40$. В этом случае рекомендуется применить универсальную виброголовку со значениями параметров, обозначенных в табл. 4 точками (●): $P = 150 \div 700$ Н; $n_{дв. х} = 800 \div 1400$ 1/мин; $l = 0,5 \div 5$ мм; $d_{ш} = 2 \div 10$ мм.

Пример 2. В условиях серийного производства необходимо вибронакатывать на токарном станке регулярный полностью новый микрорельеф IV вида на внутренней цилиндрической поверхности деталей твердостью $HRC > 40$. В этом случае рекомендуется применять универсальную (при крупносерийном производстве — специальную) виброголовку со значениями параметров, обозначенных в табл. 4 треугольниками (△): $P = 150 \div 400$ Н; $n_{дв. х} = 3000$ 1/мин; $l = 0,5 \div 2,5$ мм; $d_{ш} = 1 \div 1,5$ мм.

Пример 3. В условиях массового производства необходимо вибронакатывать на карусельном станке регулярный микрорельеф IV вида на наружной торцовой поверхности стальных деталей в состоянии поставки. В этом случае рекомендуется применять специальную виброголовку (станок) со значениями параметров, обозначенных в табл. 4 кружочками (○): $P = 150 \div 400$ Н; $n_{дв. х} = 5000$ 1/мин; $l = 0,5 \div 2,5$ мм; $d_{ш} = 5 \div 10$ мм.

Необходимо учесть, что высокопроизводительные виброголовки следует применять не только в серийном и массовом производствах, но во всех случаях при образовании полностью нового микрорельефа IV вида, поскольку перекрытие всей исходной поверхности регулярными микронеровностями производится при относительно низких режимах вибронакатывания с соответственно малой производительностью.

В условиях серийного производства могут быть использованы виброголовки совмещенного действия. С помощью таких головок процесс вибронакатывания совмещается с предшествующей ему обработкой, например с обточкой при вибронакатывании цилиндрической поверхности по схеме, показанной на рис. 10, или с торцовым фрезерованием с помощью виброголовки (рис. 36)¹ при вибронакатывании плоской поверхности. Осцилляционное движение в горизонтальной плоскости осуществляется кулачком 1, закрепленным на шпиндельной головке вертикальнофрезерного станка. Шариковые державки 2 и 6 упругого действия могут устанавливаться на различном расстоянии от оси шпинделя. При этом вибронакатывание может выполняться как самостоятельная операция или одновременно с фрезерованием резцами 4 и 5, закрепленными в пазах корпуса 3.

Как и при обработке цилиндрических поверхностей, совмещение полустойковой обработки резанием с вибронакатыванием позволяет не только сократить цикл обработки детали, но и повысить ее точность, поскольку предварительная и окончательная обработка ведутся в этом случае за одну установку.

¹ Разработана в ЛИТМО.

Дальнейшее совершенствование оборудования, оснастки и инструмента для вибронакатывания должно вестись в направлении:

1) универсализации виброголовок с плавным регулированием числа осцилляций в единицу времени и амплитуды колебаний деформирующего элемента со стабилизатором напряжения;

2) универсализации станков с плавным регулированием скорости вращения заготовки продольной (для обработки цилиндри-

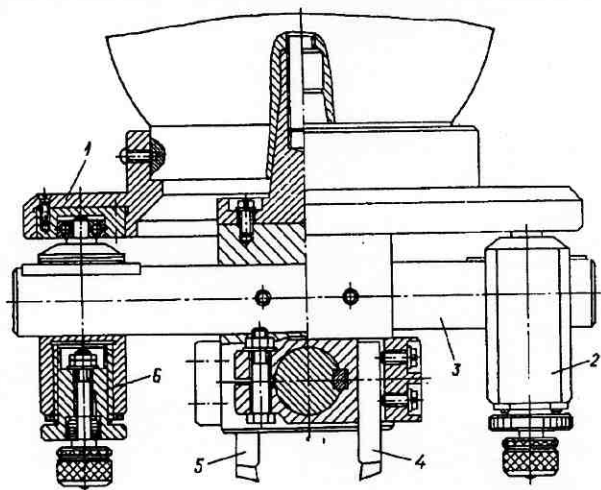


Рис. 36. Виброголовка совмещенного действия для одновременного торцового фрезерования и вибронакатывания плоской поверхности

ческих поверхностей) и поперечной (для обработки торцовых поверхностей) подач, со стабилизатором напряжения;

3) создания специальных, упрощенной конструкции высокопроизводительных станков для обработки деталей крупносерийного и массового производства;

4) создания станков с программным управлением, обеспечивающих изменение микрорельефа по заданному закону по длине образующей обрабатываемой детали;

5) создания станков с программным управлением, обеспечивающих самонастройку на режим, соответствующий заданной площади, занимаемой канавками (F_k), и их числу на единицу поверхности (N), объему канавок (V_k) и величине опорной поверхности при заданном сближении ($F_{оп}$);

6) создания комбайнов, состоящих из испытательных стендов, «выдающих» оптимальные значения параметров микрорельефа (F_k , N , V_k , $F_{оп}$), и самонастраивающихся по ним вибронакатных станков;

7) высокопроизводительных многоэлементных и скоростных универсальных виброголовок;

8) виброголовок с устройствами, обеспечивающими стабилизацию режима вибронакатывания во времени, а также с адаптивными устройствами, обеспечивающими самоподнастройку системы СПИД при изменении условий обработки.

Инструмент. Под инструментом для вибронакатывания принято понимать державки для закрепления деформирующих элементов: шариков, алмазных и твердосплавных наконечников, а в отдельных случаях резцов, и сами деформирующие элементы. Поскольку в настоящее время процесс вибронакатывания широко применяется для обработки термически необработанных деталей машин и приборов, основным видом деформирующего элемента являются шары различного диаметра. При проектировании державок для шаров необходимо основное внимание уделить выполнению условия нормальной и эффективной их работы — обеспечение трения качества между деформирующим шаром и обрабатываемой поверхностью. Это условие выполняется, когда трение между шаром и обрабатываемой поверхностью больше, чем трение между шаром и поверхностью, на которую он опирается, т. е.

$$Fr_{ш} > F_1 r_{ш} + F_2 r_{ш} \quad \text{или} \quad Fr_{ш} > F_1 r_{ш} + F_2' r_{ш}, \quad (1)$$

где F — сила трения между шаром и обрабатываемой поверхностью; F_1 — сила трения между шаром и поверхностью опоры; F_2 и F_2' — сила трения между шаром и боковыми поверхностями сепаратора; $r_{ш}$ — радиус шара.

На рис. 37, а—ж приведены различные конструктивные схемы шариковых державок с опорой шаров на шарикоподшипники, фторопластовые прокладки, на подаваемую под давлением жидкость. Наибольшее применение получили шариковые державки с опорой шара на шарикоподшипник с латунным или бронзовым сепаратором (рис. 37, а), отличающиеся простотой конструкции и изготовления.

При вибронакатывании термически обработанных сталей (HRC 30—40), а также при необходимости выдавливания канавок большой глубины, т. е. при работе с относительно большими усилиями вибронакатывания, целесообразно применять шариковые державки с сепаратором с опорой шара на два шарикоподшипника (рис. 37, б). Некоторое усложнение конструкции компенсируется большей прочностью и долговечностью опор, улучшением условий качения по ним шара. Шариковая державка подобного типа показана на рис. 30, в.

Более совершенной, но и более сложной и дорогой является шариковая державка с опорой шара на четыре шарикоподшипника, расположенные в горизонтальной плоскости, заменяющие одновременно и сепаратор (рис. 38, а). Выпадение шара 1 предотвращается крышкой 2, стопорящейся стопором 5 к оправке 6. В оправке

профрезерованы четыре взаимно перпендикулярно расположенных паза, в которых на осях 4 размещены четыре шарикоподшипника 3. Державка такой конструкции обеспечивает наилучшие условия трения качения, наименьшее проскальзывание шара и соответственно высокое качество обрабатываемой поверхности. Именно с помощью таких державок удавалось достигать шероховатости поверхности $Ra = 0,02 \div 0,08$ мкм (11—12 классов шероховатости

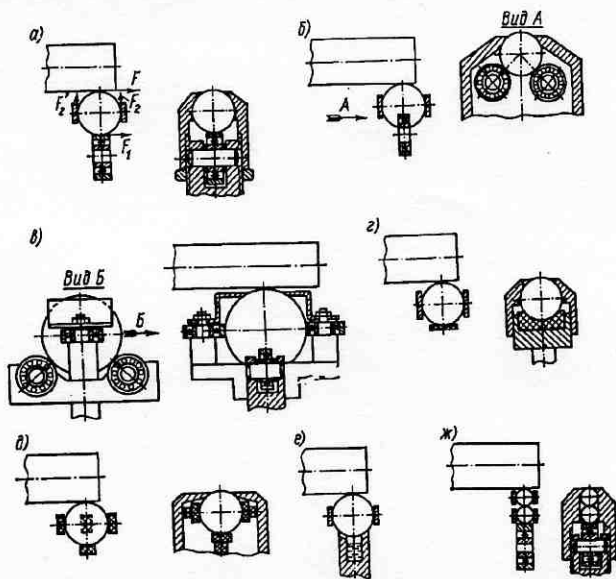


Рис. 37. Конструктивные схемы шариковых державок

поверхности) при использовании шаров диаметром 30 мм и более при вибронакатывании термически необработанных сталей.

Малый коэффициент трения фторопласта (чаще всего применяется фторопласт марок ФП-4 и ФП-3) и высокая его износостойкость обеспечивают надежную работу в качестве опор шаров диаметром более 10 мм при обкатывании и вибронакатывании. При этом предельно упрощается конструкция державки и уменьшаются ее габаритные размеры. Наиболее конструктивно проста и дешева державка с опорой шара на фторопластовый подпятник с латунным или бронзовым сепаратором (рис. 38, б). Конструкция малогабаритной шариковой державки для вибронакатывания отверстий диаметром 12 мм показана на рис. 39, а. Удлиненная маложесткая штанга 2 закрепляется в корпусе 1 и несет два полуцилиндра 3 и 4, между которыми при помощи шайбы 5 и гайки 6 закреплена фторопластовая опора 7, в сферической выемке которой

установлен шар 8 диаметром 4 мм. Латунные полукольца являются сепаратором, а штанга выполняет роль упругого элемента. Несколько более сложная обеспечивающая лучшие условия работы и

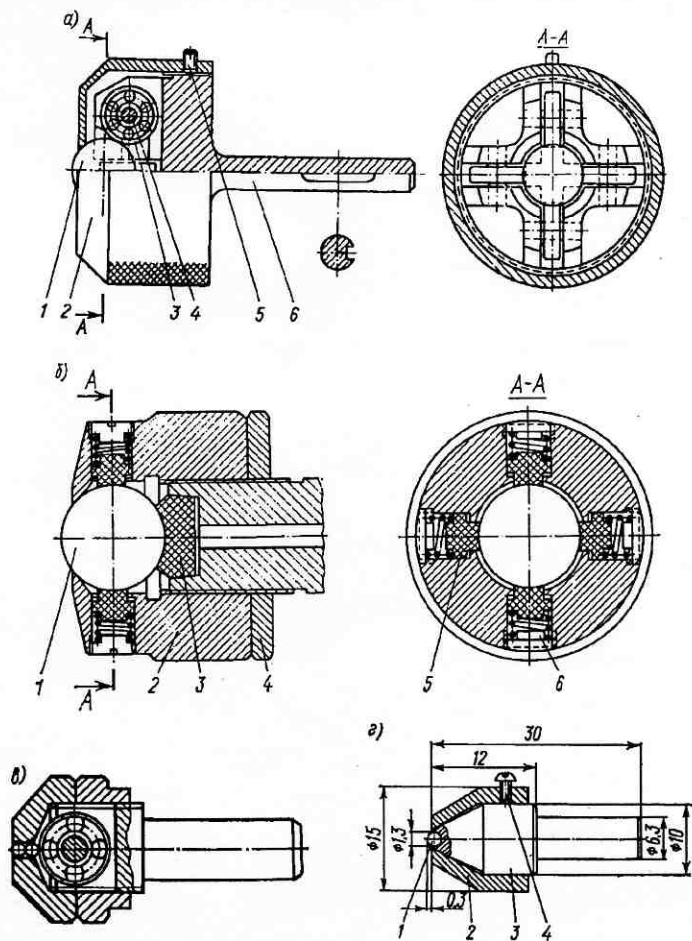


Рис. 38. Шариковые державки с опорой шаров

большую долговечность державка с четырьмя фторопластовыми опорами, заменяющими сепаратор (см. рис. 37, д). Такая державка состоит из корпуса 2 (см. рис. 38, б), навинченного на шток, стопорящегося гайкой 4, и установленного на нем шара 1, опирающегося на фторопластовую опору 3 и удерживаемого четырьмя опорами 5. Износ фторопластовых опор 5 может компенсироваться

поджатием их при помощи пружин *б*. Шариковая державка такой конструкции¹ обеспечивает полное устранение металлического контакта деформирующего элемента — шара с опорой и с сепаратором.

При использовании для вибронакатывания шаров малого диаметра (при обработке тонкостенных деталей, создании «тонкого»

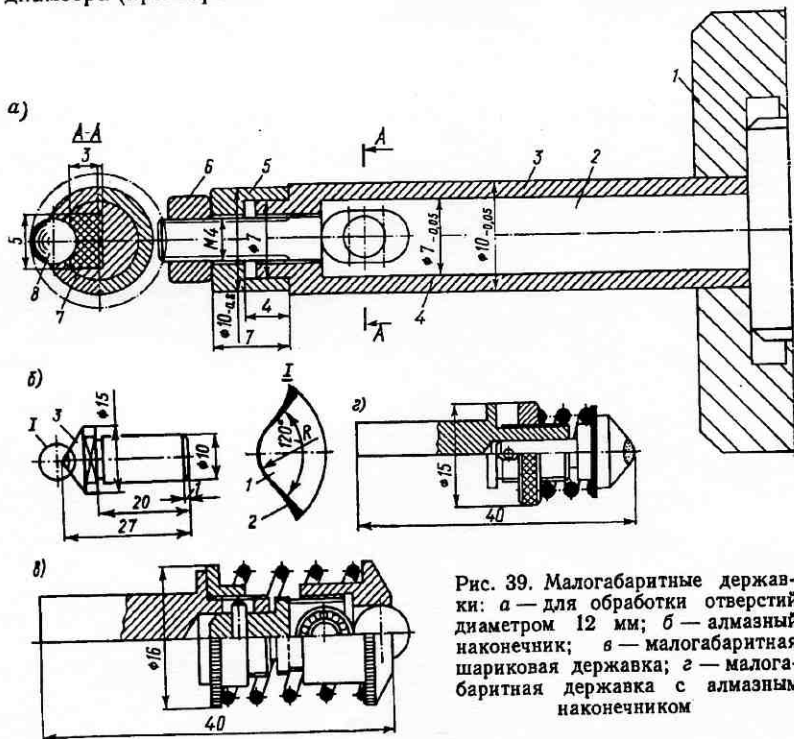


Рис. 39. Малогабаритные державки: *а* — для обработки отверстий диаметром 12 мм; *б* — алмазный наконечник; *в* — малогабаритная шариковая державка; *г* — малогабаритная державка с алмазным наконечником

рисунка с канавками малой ширины) возникающие контактные давления шара на фторопласт столь значительны, что происходит его разрушение (отслаивание). В этом случае используется шариковая державка с опорой шара на шар, в свою очередь опирающийся на шарикоподшипник (см. рис. 37, *ж*).

Конструкция шариковой головки с рабочим и опорным шарами диаметром 2 мм показана на рис. 38, *в*. В этом случае опорный шар является своего рода промежуточной опорой, так как без нее, даже при использовании шарикоподшипников минимальных размеров, не удастся вписать рабочий шар и шарикоподшипник в сепаратор. На рис. 38, *г* показана шариковая державка с шаром

¹ А. с. № 255792.

1 диаметром 1,3 мм, опирающаяся на закаленный подпятник 3 с сферической выемкой под шар. Сепаратор 2 удерживает шар и стопорится винтом 4.

С учетом тенденции роста скоростей вибронакатывания следует считать перспективной конструкцию шариковой державки с опорой шара на упругую массу, например на гидропласт¹ или на жидкость (см. рис. 37, е). Шариковая державка с опорой шара на масло, подаваемое под давлением 4,04—4,55 МПа, успешно работает в специальных раскатных головках для одновременной расточки и гладкого раскатывания.

Конструкция опор и сепараторов при использовании в качестве деформирующего элемента шара выбирается в зависимости от твердости обрабатываемого материала, применяемого режима вибронакатывания и диаметра используемых шаров.

При обработке высокотвердых материалов (закаленные и азотированные стали твердостью выше HRC 45—50, твердые сплавы) деформирующим элементом является выполненный в рабочей части по сфере алмаз 1 (рис. 39, б), впаянный припоем 2 в стальную оправку 3. Алмазные наконечники подобной конструкции с радиусом сферы алмаза 0,5—4,0 мм изготавливаются централизованно Томилинским заводом алмазных инструментов. Алмазный наконечник непосредственно или через переходную втулку закрепляется в шпинделе виброголовки при помощи цанги.

Малогабаритные державки с шаром и алмазным наконечником могут быть использованы как для обкатывания (рис. 39, в), так и для вибронакатывания (рис. 39, г). Шариковые державки к устройствам для вибронакатывания различаются по количеству деформирующих элементов.

В последнее время созданы новые конструкции шариковых державок, позволяющие расширить возможности процесса вибронакатывания.

На рис. 40, а показана двухшариковая державка² для обработки поднутренных плоских поверхностей типа «ласточкиного хвоста», например, направляющих биологического микроскопа. Цилиндрическим хвостовиком корпуса 4 державка закрепляется в совершающем осцилляционное движение штоке виброголовки, показанной на рис. 12. К корпусу крепится двумя винтами 2 латунный сепаратор 3 (фиксация положения сепаратора осуществляется штифтом 1), таким образом, что шарики свободно вращаются от трения с обрабатываемой поверхностью, а зазор между ними и стенками отверстий, в который шарики вставлены, минимален.

На рис. 40, б показана одношариковая державка, конструкция которой так же, как и в предыдущем случае, обусловлена труднодоступностью обрабатываемой поверхности. Именно это опреде-

¹ А. с. № 157613.

² Конструкция ЛИТМО.