

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра электронной техники и технологии

**ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве пособия для специальностей
1-39 02 02 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»,
1-36 04 01 «Электронно-оптические системы и технологии»,
1-39 02 02 «Проектирование и производство программно-управляемых
электронных средств» и 1-36 04 01 «Программно-управляемые
электронно-оптические системы»*

Минск БГУИР 2015

УДК 621.791(076.5)

ББК 34.64я73

П78

А в т о р ы:

С. В. Бордусов, А. П. Достанко, С. И. Мадвейко, О. В. Гуревич, И. Б. Петухов

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра энергетики и электронной техники учреждения
образования «Полоцкий государственный университет»
(протокол №6 от 15.01.2014);

проректор по учебной работе, социальным вопросам и спорту Белорусского
национального технического университета, доктор технических наук,
профессор О. К. Гусев

Программно-управляемые технологические процессы и
П78 оборудование. Лабораторный практикум : пособие / С. В. Бордусов
[и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – 80 с.
ISBN 978-985-543-079-8.

Содержит четыре лабораторные работы по изучению и исследованию процесса электромагнитной ударно-точечной обработки материалов, точности и настроенности технологического процесса, ультразвуковой микросварки проводников методом «клин–клин» в изделиях электронной техники и методов контроля качества получаемых электрических соединений, а также перемещения объектов линейным синхронным двигателем по дисциплинам «Технология деталей радиоэлектронных средств», «Технология обработки материалов», «Автоматизированные технологические системы для электрофизической обработки», «Интегрированные автоматизированные технологические комплексы» и «Диагностика и управление техническими системами».

Предназначено для закрепления и углубления теоретических знаний, приобретения практических навыков работы с технологическим оборудованием при наладке и эксплуатации программно-управляемой техники.

УДК 621.791(076.5)
ББК 34.64я73

ISBN 978-985-543-079-8

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ УДАРНО-ТОЧЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.....	4
Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И НАСТРОЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ВЫПОЛНЯЕМОГО ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫМ ИНТЕГРИРОВАННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....	16
Лабораторная работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКИ ПРОВОДНИКОВ МЕТОДОМ «КЛИН–КЛИН» В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ.....	32
Лабораторная работа №4 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Справочные материалы для выполнения лабораторных работ №1 и 2.....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Справочные материалы для выполнения лабораторной работы №3.....	76

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ УДАРНО-ТОЧЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Цели работы: изучить основные виды обработки материалов давлением; рассмотреть теоретические сведения о деформации металлов и факторах, влияющих на нее; ознакомиться с основными видами маркировки; исследовать технологические режимы работы установки SIC E8-C151.

1.1. Краткие теоретические сведения

1.1.1. Обработка материалов давлением

1.1.1.1. Виды деформаций

Пластическое изменение формы твердого тела называют пластической деформацией. Обработка металлов давлением, одним из видов которой является листовая штамповка, возможна благодаря пластичности металлов. Пластичностью называются свойства твердых тел, необратимо не разрушаясь, изменять свою форму под действием внешних сил или внутренних напряжений.

Пластическая деформация металлов представляет собой сложный физико-механический процесс, обеспечивающий формоизменение металлической заготовки и изменение структуры и физико-механических свойств металла.

Количественно пластическая деформация оценивается относительным удлинением E :

$$E = \frac{(l_1 - l_0) \cdot 100}{l_0} (\%), \quad (1.1)$$

где l_1 – длина образца после его испытания на растяжение, мм;

l_0 – длина образца до испытания, мм.

Под действием внешних сил твердое тело сначала деформируется упруго, а затем пластически. Таким образом, пластической деформации всегда предшествует упругая. Упругая деформация возникает при относительно небольших значениях деформирующих сил (не превышающих предела упругости σ_p) и является следствием упругих смещений атомов металла, происходящих в результате упругих изменений межатомных расстояний. По прекращении действия деформирующих сил атомы возвращаются на свои места, и упругая деформация исчезает.

Пластическая деформация возникает вслед за упругой под действием значительных сил (обязательно превышающих предел упругости σ_p). Она сохраня-

ется и после снятия нагрузки. Однако в этом случае после разгрузки деформируемое тело несколько изменяет свои размеры за счет частичного восстановления первоначальных размеров под действием упругой деформации. Такое явление называется упругим последствием.

При пластическом деформировании зерна металла и их группы дробятся, перемещаются, поворачиваются, вытягиваются и, кроме того, некоторые части кристаллов смещаются относительно упругих. Эти смещения осуществляются главным образом скольжением (сдвигом) и двойникованием. При скольжении одна часть кристалла смещается параллельно относительно другой на расстояние, во много раз большее межатомных расстояний. Скольжение происходит по определенным кристаллографическим плоскостям, которые называются плоскостями скольжения. Обычно ими являются плоскости, имеющие наибольшую плотность размещения (упаковки) атомов. Например, в металлах с гранцентрированной кубической решеткой (ГЦК) плоскостями скольжения являются плоскости октаэдра типа (111). Скольжение анизотропно. По одним кристаллографическим плоскостям оно идет значительно легче, чем по другим. При повышении температуры увеличивается количество возможных плоскостей скольжения.

Двойникование представляет собой смещение одной части кристалла симметрично остальному его объему. Наибольшую склонность к двойникованию обнаруживают кристаллы с ГПУ- и ОЦК-решетками. Оно сравнительно редко наблюдается при статической нагрузке и значительно чаще при деформировании ударом. С увеличением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию повышается. Плоскости двойникования обычно совпадают с плоскостями скольжения.

Пластическая деформация происходит не только вследствие сдвига внутри кристалла (зерна), но и в результате поворота, сдвига и относительного перемещения самих зерен. Такая межкристаллитная (межзеренная) пластическая деформация приводит к определенной ориентировке зерен, т. е. к появлению текстуры.

Аморфный механизм пластической деформации (диффузионная пластичность) характеризуется отсутствием порядка в последовательности перемещения атомов или молекул из одних мест устойчивого равновесия в другие. Он характерен для пластической деформации пластмасс.

1.1.1.2. Факторы, влияющие на пластичность

Основными факторами, определяющими пластичность металла при обработке давлением, являются:

- химический состав и структура металла;
- температура деформации;
- скорость деформации;
- схема напряженного состояния.

В значительной степени на пластичность влияет химический состав металла. Наибольшую пластичность проявляют чистые металлы. Примеси, и даже ничтожное их содержание, как правило, значительно снижают пластичность. Примеси, растворяясь в небольших количествах, образуют хрупкие сетки по границам зерен. Такие примеси называют вредными. Например, в меди такими примесями являются висмут, сурьма или мышьяк. Для технически чистого железа вредными примесями являются сера, фосфор и др. Вместе с тем некоторые примеси повышают пластичность, подавляя вредное влияние других примесей. Так, в стали содержание углерода до 0,8–1 % незначительно уменьшает пластичность металла. Дальнейшее повышение содержания углерода приводит к тому, что сталь в литом состоянии можно обрабатывать только ковкой. При рассмотрении влияния структуры металла на пластичность различают литую структуру и деформированную. Металл в литом состоянии обладает меньшей пластичностью, чем в деформированном состоянии. Структурная неоднородность литого металла, которая выражается в различном строении дендритов, дендритной и зональной ликвации, наличии неплотностей и неравномерном распределении примесей снижает его пластичность.

После горячей пластической деформации литого металла структурная неоднородность его уменьшается и повышается его пластичность. Как правило, пластичность металлов повышается с повышением температуры. Наибольшую пластичность металлы имеют между температурой рекристаллизации T_p и температурой плавления $T_{пл}$. Пластичность с ростом температуры увеличивается не монотонно. Это объясняется тем, что некоторые примеси и легирующие добавки образуют легкоплавкие соединения (эвтектики), которые при некоторых температурах резко уменьшают пластичность. Так, технически чистое железо обнаруживает хрупкость при температурах 900–1000 °С в связи с расплавлением FeS при 985 °С, располагающегося по границам зерен (явление красноломкости). Когда температура нагрева близка к температуре плавления, пластичность резко снижается из-за перегрева и пережога.

Действие скорости деформации на пластичность при горячей деформации зависит от протекающих одновременно в металле двух процессов: упрочнения (наклепа) и разупрочнения (рекристаллизации). Скорость упрочнения металла определяется скоростью деформации, а скорость разупрочнения – скоростью рекристаллизации, которая зависит от температуры нагрева металла. С увеличением скорости деформации при холодной обработке давлением в обрабатываемом металле выделяется больше тепла деформации, которое может вызывать отчасти развитие процесса разупрочнения и, следовательно, повысить пластичность металла.

При обработке давлением большое влияние на пластичность металла оказывает схема напряженного состояния. Положительное влияние на пластичность оказывают сжимающие напряжения, а отрицательное – растягивающие. Проявление пластических свойств металла зависит не только от того, какие напряжения к нему приложены – растягивающие или

вжимающие, но и от величины этих напряжений, которая определяется значением среднего (гидростатического) давления:

$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \quad (1.2)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – напряжения по трем кристаллографическим плоскостям.

В зависимости от того, какие по величине и по знаку прикладываются к обрабатываемому материалу напряжения, он может находиться в хрупком или пластическом состоянии. Например, в условиях всестороннего растяжения весьма пластичные материалы, как низкоуглеродистая сталь, переходят в хрупкое состояние. С другой стороны, при всестороннем сжатии такие хрупкие по своей природе материалы, как песчаник и мрамор, могут обладать пластичностью, т. е. устойчиво изменять свои форму и размеры без разрушения. Некоторые металлы (например, магний и его сплавы, ряд жаропрочных сплавов и др.) успешнее пластически деформируются тогда, когда более ярко проявляется схема всестороннего сжатия. Поэтому на практике при обработке металлов давлением стремятся создать схему, близкую к всестороннему сжатию, которая обеспечивает самую высокую пластичность.

1.1.1.3. Твердость. Методы определения твердости

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании, – неразрушающий метод контроля. Он является основным методом оценки качества термической обработки изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса). Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы. Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. Схемы определения твердости по данным методам представлены на рис. 1.1.

Твердость по Бринеллю

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис. 1.1, *a*). В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D , равным 2,5, 5, 10 мм в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка P выбирается в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости. Продолжительность выдержки для стали и чугуна составляет 10 с, для латуни и бронзы – 30 с. Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля.

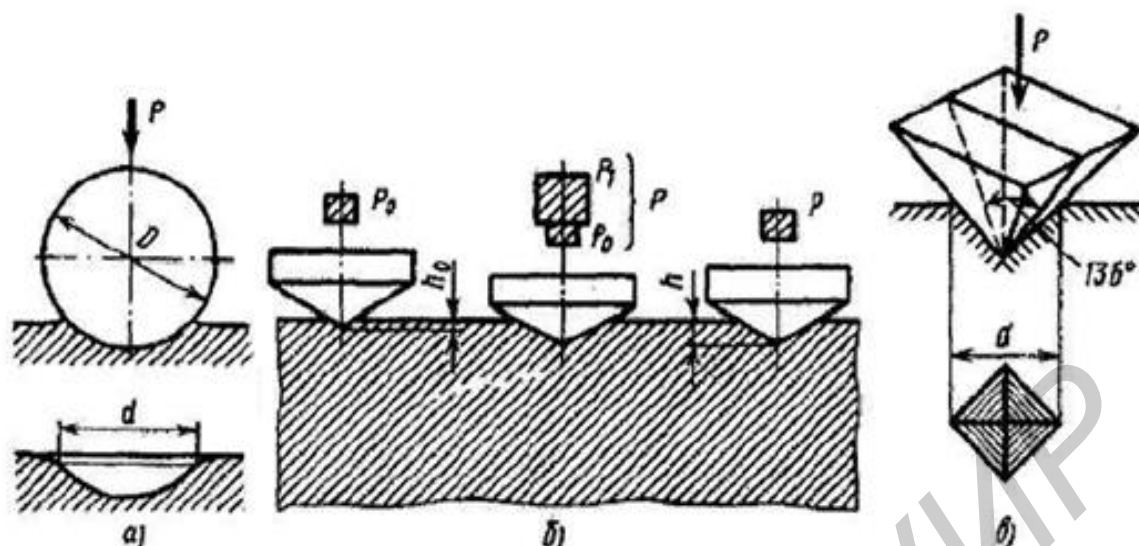


Рис.1.1. Схемы определения твердости:
a – по Бринеллю; *б* – по Роквеллу; *в* – по Виккерсу

Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.3)$$

Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс; $t = 10$ с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB, в других случаях указываются условия: HB D / P / (HB 5/250/30–80).

Метод Роквелла

Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 1.1, б).

Индентор для мягких материалов (до HB 230) – стальной шарик диаметром $1/16''$ (1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный. Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой.

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P_0	P_1	P_2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик диаметром $\frac{1}{16}$ "	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

Метод Виккерса (ГОСТ 2999–75)

Твердость определяется по величине отпечатка (рис. 1.1, в). В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}. \quad (1.4)$$

Нагрузка P составляет 5–100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, в том числе тонких изделий и поверхностных слоев. Метод обладает высокой точностью и чувствительностью.

1.1.1.4. Основные виды обработки материалов давлением

Основными видами обработки материалов давлением является прокатка, волочение, прессование, объемная штамповка, листовая штамповка, свободная ковка.

Прокатка – один из самых распространенных видов обработки металлов давлением. Заключается в обжатии металла между двумя, реже тремя, вращающимися в разные стороны валками. Силами трения заготовка затягивается в зазор между валками и обжимается по высоте. Тангенс угла захвата равен коэффициенту трения. После прокатки отношение площади сечения заготовки к площади сечения готового профиля равно отношению длины готового профиля к

длине исходной заготовки (т. е. объем при прокатке не изменяется) без учета потерь по переделу и называется коэффициентом вытяжки.

Волочение – обработка металлов давлением, при которой изделия (заготовки) круглого или фасонного профиля (поперечного сечения) протягиваются через отверстие, сечение которого меньше сечения заготовки. В результате поперечные размеры изделия уменьшаются, а длина увеличивается. Волочение широко применяется в производстве пруткового металла, проволоки, труб и т. д. Производится на волочильных станах, основными частями которых являются волокни и устройство, тянущее через них металл.

Прессование – процесс обработки материалов давлением с целью уплотнения изменения формы, отделения жидкой фазы от твердой, изменения механических и других свойств материала, при которых деформация происходит под действием сжимающих сил. Применяется в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Осуществляется обычно при помощи высокого давления прессов. Все процессы можно условно разбить на три группы. К первой группе относятся процессы, при которых весь объем заготовки деформируется одновременно. Ко второй группе относятся процессы, при которых деформации подвергается лишь часть объема заготовки, при этом металл поступает в очаг деформации периодически. К третьей группе относятся процессы деформации части объема заготовки с непрерывным поступлением металла в очаг деформации.

Объемная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковки из заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа. Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации поковки. В качестве заготовок для горячей штамповки применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический. При этом прутки разрезают на отдельные (мерные) заготовки, хотя иногда штампуют из прутка с последующим отделением поковки непосредственно на штамповочной машине. При горячей объемной штамповке пластическое деформирование заготовки существенно облегчается ее нагревом, однако возникает риск появления трещин в материале заготовки при неравномерной по объему полости теплопередаче к материалу штампа.

Листовая штамповка – вид штамповки, где в качестве заготовки используют полученные прокаткой лист, полосу или ленту, свернутую в рулон. Для деталей, получаемых листовой штамповкой, характерно то, что толщина их стенок незначительно отличается от толщины исходной заготовки. При изготовлении листовой штамповкой пространственных деталей заготовка обычно испытывает значительные пластические деформации. Это обстоятельство вынуждает предъявлять к материалу заготовки достаточно высокие требования по пластичности. При листовой штамповке чаще всего используют низкоуглеродистую сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, содержащую более 60 % Cu, алюминий и его сплавы, магниевые

сплавы, титан и др. Листовой штамповкой получают плоские и пространственные детали из листовых неметаллических материалов, таких, как кожа, целлулоид, органическое стекло, фетр, текстолит, гетинакс и др.

Ковка – это способ обработки металла в пластическом виде при помощи специальных молотов или прессования. Различают горячий и холодный способковки. При горячей ковке металлическую заготовку нагревают, а затем вручную формуют, при холодной ковке заготовке без нагревания придают определенную форму с помощью специальных инструментов.

1.1.2. Виды маркировки

Маркировка – нанесение определенной информации на продукте или упаковке. Маркировка может наноситься вручную, например, штампом, маркером, краской, а также автоматически на линиях изготовления продукции.

Электрохимическая маркировка является оптимальным решением задачи по нанесению данных (графических, буквенно-цифровых, штрих-кода) на металлические поверхности с высоким качеством и низкой себестоимостью. Основное условие для применения технологии – наличие электрической проводимости маркируемой поверхности. Устройства для электрохимической маркировки могут применяться для крупных деталей и различных по форме поверхностей. Эти устройства могут быть интегрированы в производственную линию или использоваться отдельно. Важным преимуществом данной технологии является минимальное воздействие на структуру маркируемого материала.

Достоинства:

- при травлении не нарушается структура маркируемого материала;
- низкая себестоимость маркировки при высоком ее качестве.

Недостатки:

- возможность нанесения только на проводящих поверхностях;
- необходимость применения реактивов для проведения процесса.

Лазерная гравировка. Маркировка наносится непосредственно на поверхности изделия специализированными установками гравировки, в которых вместо резца применяется лазерный луч. Позволяет получать четкое, устойчивое к внешним воздействиям изображение. Гравятся различные материалы – пластик, многие металлы, стекло, дерево и др.

Достоинства:

- устойчивость к внешним воздействиям;
- применима к различным материалам: пластик, металлы, стекло, дерево и др.

Недостатки:

- низкая контрастность/читаемость маркировки;
- трудность маркировки габаритных изделий и изделий сложной формы;
- дороговизна оборудования.

Маркировка ударно-точечным способом основана на нанесении индивидуальных точек (сферических углублений) карбидным пуансоном. Маркировочный пуансон приводится в действие с помощью электромагнита. Данным способом могут быть перманентно маркированы детали из материалов твердостью до 63 HRC, такие, как карбидный металл, различные виды сплавов, нержавеющая сталь, алюминий, никель, латунь, медь и большое количество других материалов.

Достоинства:

- маркировка, нанесенная ударно-точечными маркираторами, является перманентной (постоянной, долговечной), хорошо читаемой, нестираемой;
- аппараты позволяют наносить маркировку на детали без предварительной подготовки поверхности заготовки;
- в отличие от капле струйной и термотрансферной маркировок расходные материалы как таковые отсутствуют. Ресурс маркировочного пуансона несколько миллионов ударов (при маркировке алюминиевых табличек (шильдов) пуансон не требует замены в течение нескольких лет, при маркировке черной стали стойкость пуансона составляет до года использования). В отличие от лазерной маркировки ударно-точечную маркировку видно и после окрашивания деталей;
- при ударно-точечном способе маркировки маркируемая поверхность не подвергается нагреву;
- можно регулировать силу воздействия, за счет чего возможно маркировать мягкие сплавы и тонкие заготовки, а также добиться хорошей читаемости на твердой или каленой стали.

Недостатки:

- низкая контрастность/читаемость;
- необходимость специального оборудования и программного обеспечения.

Капле струйная маркировка – это нанесение информации, штриховых кодов, изображений на любые поверхности и материалы при различной пространственной ориентации маркируемого продукта. Технология капле струйного маркирования основана на печати с помощью отдельных капель чернил, которые отклоняются от первоначальной траектории по индивидуальному закону и, попадая в определенное место на поверхности движущегося продукта, создают требуемое изображение.

Достоинства:

- возможность маркировки различных материалов;
- дешевизна оборудования;
- простота метода.

Недостатки:

- низкая устойчивость к различным воздействиям (механическим, химическим т. д.);
- необходимость применения чернил.

1.2. Практическая часть

1.2.1. Оборудование и заготовки, применяемые при выполнении работ

1. Комплект оборудования SIC E8-C151. Основные технические характеристики приведены в прил. 1.
2. Микроскоп.
3. Три листовые металлические заготовки.

1.2.2. Порядок выполнения работы

1.2.2.1. Исследование зависимости диаметра отпечатка от твердости материала

1. Получить у преподавателя три заготовки из различных материалов.
2. Включить установку, кнопка включения установки находится на задней крышке контроллера.
3. Загрузить надпись из памяти контроллера. Для этого нажать клавишу F3, выбрать файл TECHNOLOGIA1 и нажать клавишу Ent.
4. Закрепить обрабатываемый материал.
5. Установить маркировочную головку в начальную точку обработки. Для этого необходимо выполнить следующие действия:
 - 5.1. Войти в режим редактирования. Для этого нажать клавишу F5.
 - 5.2. Произвести редактирование файла. Перемещение по пунктам меню осуществляется клавишей Ent, изменение значения параметра клавишами ↑↓. Установить следующие значения параметров обработки:
 - Depth – 5 (энергия удара);
 - Quality – Smp (расстояние между точками);
 - шрифт – OCR (тип шрифта);
 - скорость – файл (скорость нанесения маркировки);
 - угол – 0 (угол поворота надписи);
 - радиус – 0 (выполнение надписи по окружности);
 - H – 7 (высота знака);
 - L – 7 (длина знака);
 - значения X, Y оставить без изменений.
 - 5.3. Установить расстояние между иглой и заготовкой 15–20 мм с помощью ручки на стойке.
 - 5.4. Войти в функцию подхода, для этого нажать клавишу F8.
 - 5.5. Переместить маркировочную головку в начальную точку маркировки, для этого использовать клавиши ←↑→↓ для перемещения головки на один шаг в нужном направлении. Начальная точка маркировки должна находиться в поле заготовки на расстоянии минимум 8 мм от верхнего ее края.
 - 5.6. Установить расстояние между иглой и заготовкой с помощью ручки на стойке.

6. Произвести очерчивание контура, для этого нажать клавишу F6. Маркировочная головка очертит контур надписи. Во время очерчивания визуально убедиться, что вся надпись попадает в поле заготовки, перейти в режим редактирования, для этого нажать клавишу Esc. Сохранить изменения в файле нажатием клавиши F4.

7. Войти в режим маркировки. Для этого нажать клавишу Esc. На запрос о сохранении ввести Y. Произвести маркировку, для этого нажать клавишу Пуск на выносном пульте.

8. Повторить действия 4–6 для двух оставшихся материалов.

9. С помощью микроскопа измерить диаметры пяти отпечатков для каждого материала. Занести данные в таблицу программы TECHNOLOGIA1. Занести значения твердости материалов в поля программы. Значения твердости выбрать из таблиц прил. 1 для данных материалов. Нажать кнопку «Построить график».

С помощью микроскопа ИМЦЛ 100×50А произвести измерения расстояния между углублениями по вертикали в каждом столбце (параметр X на рис. 1.2).

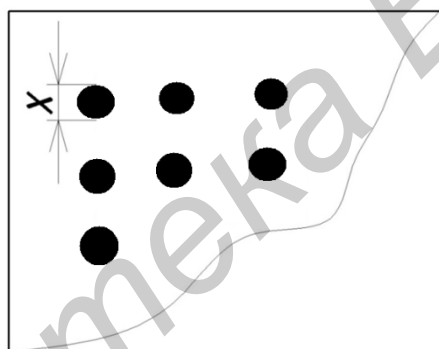


Рис. 1.2. Расположение углублений на заготовке

10. Зарисовать график зависимости диаметра отпечатка от твердости материала.

1.2.2.2. Исследование зависимости диаметра отпечатка от энергии удара

1. Загрузить файл TECHNOLOGIA1.

2. Войти в режим редактирования. Повторить действия 4–6 п. 1.2.2.1, установив значение параметра Depth равным 4. При очерчивании контура визуально убедиться, что контур надписи не попадает на ранее сделанную.

3. Повторить действия 4–6 п. 1.2.2.1, установив значение параметра Depth равным 6. При очерчивании контура визуально убедиться, что контур надписи не попадает на ранее сделанную.

4. С помощью микроскопа измерить диаметры пяти отпечатков для каждой энергии удара. Занести данные в таблицу программы TECHNOLOGIA2. Значения энергии выбрать из прил. 1 и занести их в поля программы. Нажать кнопку «Построить график».

5. Зарисовать график зависимости диаметра отпечатки от энергии удара.
6. Для материала, использованного в п. 1.2.2.2, и трех режимов обработки рассчитать минимальное расстояние между центрами отпечатков, при котором они не будут соприкасаться.

1.2.2.3. Расчет срока службы иглы

С помощью программы «Срок службы иглы» рассчитать количество деталей, которое обработает игла для материала, использованного в п. 1.2.2.2, и следующих режимов обработки:

- 1) износ иглы – низкий;
- 2) Depth – 5;
- 3) шрифт – Smp.

1.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Графики зависимостей.
4. Результаты расчетов расстояний между центрами отпечатков и срока службы иглы.
5. Вывод по работе.

1.4. Контрольные вопросы

1. Виды деформаций.
2. Механизмы пластической деформации.
3. Факторы, влияющие на пластичность металлов.
4. Влияние температуры на пластичность.
5. Понятие твердости.
6. Методы определения твердости.
7. Виды обработки материалов давлением.
8. Волочение и прокатка. Основные отличия.
9. Листовая и объемная штамповка.
10. Прессование и ковка.
11. Виды маркировки.
12. Электрохимическая маркировка и лазерное гравирование. Достоинства и недостатки электрохимической маркировки и лазерной гравировки.
13. Маркировка ударно-точечным способом и каплеструйная маркировка. Достоинства и недостатки маркировки ударно-точечным способом и каплеструйной маркировки.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И НАСТРОЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ВЫПОЛНЯЕМОГО ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫМ ИНТЕГРИРОВАННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Цели работы: изучить методы анализа точности и настроенности технологических процессов (ТП); овладеть навыками проведения измерений и расчетов при исследовании точности и настроенности ТП экспериментально-статистическим методом; исследовать точность и настроенность ТП.

2.1. Краткие теоретические сведения

2.1.1. Производственные погрешности, причины их возникновения, законы распределения

В процессе изготовления изделий невозможно обеспечить абсолютную тождественность их выходных параметров. При любом неизменном ТП изготовления партии деталей одним и тем же рабочим на одном и том же оборудовании появляются производственные погрешности, например, колебания геометрических размеров или физических параметров изделий.

В общем случае под производственными погрешностями понимают отступления от номинальных данных, указанных в чертежах, нормалях, ТУ и другой технической документации, которые возникают при изготовлении деталей и сборке изделий.

По характеру проявления погрешности можно разделить следующим образом:

1) случайная погрешность – погрешность, меняющаяся (по величине и по знаку) от измерения к измерению. Случайные погрешности могут быть связаны с несовершенством приборов (трение в механических приборах и т. п.), тряской, с несовершенством объекта измерений (например, при измерении диаметра тонкой проволоки, которая может иметь не совсем круглое сечение в результате несовершенства процесса изготовления), с особенностями самой измеряемой величины (например, при измерении количества элементарных частиц, проходящих в минуту через счетчик Гейгера);

2) систематическая погрешность – погрешность, изменяющаяся во времени по определенному закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени). Систематические погрешности могут быть связаны с ошибками приборов (неправильная шкала, калибровка и т. п.), не учтенными экспериментатором;

3) прогрессирующая (дрейфовая) погрешность – непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Она представляет собой нестационарный случайный процесс;

4) грубая погрешность (промах) – погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры (например, если экспериментатор неправильно прочел номер деления на шкале прибора или если произошло замыкание в электрической цепи).

По причине возникновения погрешности бывают:

1) инструментальные (приборные) погрешности – погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, ненаглядностью прибора;

2) методические погрешности – погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики;

3) субъективные (операторные, личные) погрешности – погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.

В технике применяют приборы для измерения лишь с определенной заранее заданной точностью – основной погрешностью, допускаемой нормами в нормальных условиях эксплуатации для данного прибора.

Если прибор работает в условиях, отличных от нормальных, то возникает дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора. К дополнительным погрешностям относятся: температурная, вызванная отклонением температуры окружающей среды от нормальной; установочная, обусловленная отклонением положения прибора от нормального рабочего положения, и т. п. За нормальную температуру окружающего воздуха принимают 20 °С, за нормальное атмосферное давление – 101,325 кПа.

Основными причинами возникновения погрешностей обработки являются следующие: упругие деформации системы станок – приспособление – заготовка – инструмент; низкая точность станка; неточность настройки инструмента или погрешности в его изготовлении; неточность кинематической настройки цепей станка; температурные деформации узлов станка, заготовки и режущего инструмента; погрешности показаний измерительных средств; износ режущего инструмента; неточность приспособления; большие отклонения от заданной формы поверхностей у исходной заготовки; неверно выбранное базирование; нежесткое закрепление заготовки или режущего инструмента.

Приведем пример обработки вала в центрах на токарном станке. У токарного станка жесткость передней и задней бабок различна. Исправить эту погрешность формы можно, обработав эту деталь на более точном станке сначала получистовым проходом, а затем чистовым. Вот почему желательно получать исходную заготовку для обработки на станках с равномерным припуском и формой, приближенной к форме будущей детали.

Погрешности обработки при установке в центрах вызываются следующими основными причинами:

- центровые отверстия расположены не на одной оси;
- центровые отверстия расположены эксцентрично по отношению к обточенной поверхности;
- неточностями станка (овальность опорных поверхностей шпинделя, биение оси конического отверстия в шпинделе, перекося траектории вершины резца вследствие износа направляющих или несовпадения осей переднего и заднего центров);
- деформациями детали под действием сил резания (в результате образуется бочкообразность, седлообразность);
- упругими отжатиями передней и задней бабок (искажение формы обработанной детали в продольном направлении);
- неточностями формы исходной заготовки;
- неточностью установки резца.

Погрешность по диаметру (среднее квадратическое отклонение) при обтачивании цилиндрических поверхностей для станков, имеющих деления на лимбе через 0,2 мм, по опытным данным составляет 1,5 мкм, а для точных станков – менее 1 мкм.

На точность обработки деталей на токарных станках с ЧПУ помимо указанных влияют следующие факторы:

- соответствие станка нормам точности по техническим условиям изготовления и правильная выверка станка по уровню при монтаже;
- правильная регулировка механизмов и устройств станка;
- стабильность многократного выхода суппорта в заданные координаты;
- состояние режущего инструмента (как режущей кромки, так и державки);
- стабильная точность индексации револьверной головки;
- точность установки заготовки в кулачках;
- применяемые измерительные инструменты и приборы, точность и правильность показаний которых необходимо проверять в измерительной лаборатории;
- стабильность температуры в цехе.

Станок не должен подвергаться воздействию местного нагрева и сильных тепловых перепадов.

Станки классов точности В и А нельзя устанавливать в общих помещениях механических цехов.

Станки с ЧПУ класса А, легкие и средние станки класса В с нежесткой станиной, а также тяжелые станки устанавливаются на бетонных фундаментах с виброизолирующим слоем.

Легкие и средние станки классов точности В, П, Н монтируются на виброопоры или резиновые прокладки непосредственно на бетонном полу, а крупные и тяжелые станки – на бетонные фундаменты без виброизоляции.

Установленные вблизи станка с ЧПУ устройства, работающие с использованием токов высокой частоты, должны иметь защиту от радиопомех. В помещении для установки станков необходимо прокладывать шину, соединенную с низкоомным контуром заземления, для присоединения проводов заземления станка. Станок с ЧПУ подключается к трехфазной четырехпроводной сети переменного тока (напряжение 380 В).

Проверку точности станков с ЧПУ классов П, В, и А и комплекса станок-ЧПУ в работе, а также проверку геометрической и кинематической точности станков рекомендуется проводить для станков классов П и В не реже одного раза в шесть месяцев, для станков класса А – не реже одного раза в четыре месяца.

Обобщенной характеристикой средств измерения является класс точности, определяемый предельными значениями допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими параметрами, влияющими на точность средств измерения. Значение этих параметров установлено стандартами на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их точностные свойства, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств, т. к. точность зависит также от метода измерений и условий их выполнения. Измерительным приборам, пределы допускаемой основной погрешности которых заданы в виде приведенных основных (относительных) погрешностей, присваивают классы точности, выбираемые из ряда следующих чисел: $(1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$, где показатель степени n равен 1; 0; минус 1; минус 2 и т. д.

Одним из основных требований, предъявляемых к качеству продукции в условиях крупносерийного, массового производства, является ее однородность, под которой понимается полное соответствие любого числа экземпляров изделия или детали заданным техническим условиям, чертежам и стандартам.

Для анализа качества и предупреждения появления брака важное значение имеют статистические методы управления качеством. Эти методы контроля производства и качества продукции основаны на применении методов математической статистики к систематическому контролю за качеством изделий и состоянием технологического процесса с целью поддержания его устойчивости и обеспечения заданного уровня качества изготавливаемой продукции. Это научно обоснованный контроль в ходе изготовления изделий с табличным или графическим анализом результатов измерения. Преимущество статистического метода управления качеством состоит в том, что он позволяет систематически следить за состоянием хода технологического процесса производства и качества продукции, а также проверять не только качество продукции, но и в известной мере производственный процесс, степень его устойчивости.

Вероятностно-статистический метод позволяет достоверно оценить точность различных методов обработки в условиях серийного и массового производств. Данный метод универсален. Его можно применять для определения точности обработки, сборки, контрольных и других операций.

Однако он не раскрывает сущность физических явлений и факторов, определяющих точность обработки.

При обработке партии заготовок на настроенном станке в результате действия большого числа различных факторов происходит рассеяние размеров в пределах заданного поля допуска. При различных условиях обработки заготовок рассеивание их действительных размеров подчиняется различным законам распределения. В технологии машиностроения наиболее часто встречаются следующие законы распределения:

1) закон нормального распределения (закон Гаусса); ему подчиняются погрешности размеров заготовок, обработанных на настроенных станках, на которые оказывает влияние большое число случайных факторов, каждый из которых не является доминирующим и играет относительно малую роль в общей совокупности; нормальное распределение является предельным законом, к которому при определенных условиях приближаются многие другие законы;

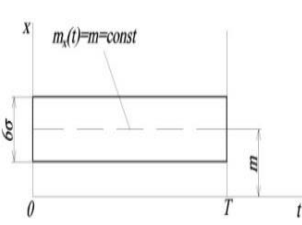
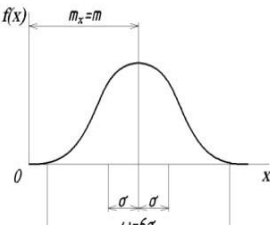
2) закон равной вероятности наблюдается в том случае, если на погрешность размеров оказывает влияние один доминирующий фактор, равномерно изменяющийся во времени (например, равномерный износ режущего инструмента);

3) закон равномерно возрастающей вероятности характеризует распределение погрешностей размеров, на которые влияет один доминирующий фактор, например, износ режущего инструмента, замедленно изменяющийся во времени.

Основные законы распределения погрешностей представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Законы распределения погрешностей размеров

Закон распределения	Характер изменения доминирующего фактора	Кривая плотности вероятности	Уравнение плотности вероятности
1	2	3	4
<p>1. Нормальный (закон Гаусса)</p>			$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right],$ <p>где m и σ – параметры</p>

1	2	2	4
2. Равной вероятности			$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2l} & \text{при } a < x < a + 2l, \\ 0 & \text{при } a > x; x > a + 2l, \end{cases}$ <p>где a и l – параметры</p>
3. Равномерно возрастающей вероятности			$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{2l^2} & \text{при } a < x < a + 2l, \\ 0 & \text{при } a > x; x > a + 2l, \end{cases}$ <p>где a и l – параметры</p>

2.1.2. Статистический метод управления качеством

Для анализа устойчивости производственного процесса и своевременного принятия мер к предупреждению появления брака строятся контрольные карты статистического контроля. На картах отмечаются результаты проверки параметра в выборочном количестве деталей (партий), которые в конечном счете отражают степень настроенности и точности процесса, что и предупреждает появление брака. Для такого анализа на карты наносятся соответствующие границы допустимого разброса качественного параметра (верхние и нижние).

Для нанесения единичных (по каждому изделию) значений контролируемого показателя такими границами являются допуски, для средних значений показателя в контролируемой партии – специально рассчитываемые границы. Средняя линия на карте соответствует номинальному значению контролируемого показателя. При настроенных процессах она должна совпадать с центром группирования контролируемого показателя качества.

Допуски отклонений показателя качества определены технической документацией. Детали с отклонениями от указанных допустимых пределов считаются забракованными. В целях заблаговременного предупреждения появления брака определяются предупредительные верхние и нижние границы регулирования.

Организация статистического метода управления качеством требует тщательной подготовки, заключающейся в выборе участка, оборудования и деталей, разработке контрольных карт анализа, инструкций для контролеров, в обучении контрольного персонала. При этих условиях он эффективен, ведет к сокращению численности контролеров, снижению трудоемкости контрольных процессов, повышению качества продукции, снижению и ликвидации брака. Данный метод требует также оперативности действий и по контролю процессов и по принятию соответствующих мер предупреждения появления брака в производстве.

Статистический метод управления качеством имеет ряд преимуществ перед другими методами: является профилактическим методом контроля; позволяет во многих случаях обоснованно перейти к выборочному контролю и тем самым снизить трудоемкость контролируемой работы; создает условия для наглядного изображения динамики качества продукции и настроенности процесса, что позволяет своевременно принимать меры к предупреждению появления брака не только контролерам и работникам ОТК, но и работникам цеха – рабочим, бригадирам, наладчикам, технологам и т. д.

Статистический метод управления качеством продукции предполагает:

- анализ технологического процесса с целью приведения его к требуемой настроенности, точности и статистически устойчивому состоянию;
- текущий контроль с целью регулирования и поддержания процесса в состоянии, обеспечивающем заданные параметры качества, выборочный статистический приемочный контроль качества готовой продукции.

Технологический процесс производства обобщенно может быть представлен следующей моделью, включающей:

- входные параметры X_i ;
- влияющие регулируемые параметры Z_j ;
- влияющие нерегулируемые параметры V_m ;
- выходные параметры Y_k .

Под входными параметрами понимаются параметры сырья, материалов и комплектующих изделий, из которых производится продукция.

Под влияющими регулируемыми параметрами понимаются параметры и показатели состояния технологического оборудования, энергии, технологические параметры (скорость обработки, температура и влажность, время и т. д.).

Под влияющими нерегулируемыми параметрами понимаются параметры, имеющие случайную природу или принимающие таковой характер ввиду отсутствия методов и средств, фиксирующих их изменение и влияние на технологический процесс. Сюда относятся износ обрабатывающего инструмента, отклонения дисциплинарного характера в работе обслуживающего персонала при выполнении предписанных воздействий на процесс и регулировки. Именно параметры этой группы вызывают те значительные колебания в показателях точности и стабильности технологических процессов, которые, в свою очередь, вызывают колебания в качестве производимой продукции.

Под выходными параметрами понимаются те фиксируемые параметры, которые и определяют качественный состав продукции, получаемой в результате произведенного процесса. Это функциональные параметры продукции и его эксплуатационные показатели или потребительские свойства.

Существуют два основных понятия в контроле качества продукции:

- 1) категорирование контролируемых параметров по степени их влияния (значимости);

2) измерение параметров с построением распределений значений, установлением закономерностей и последующей оценкой этих закономерностей.

Чем более точны данные, определяющие характер протекания технологического процесса, тем большая вероятность правильной оценки ситуации и, следовательно, большая вероятность принятия правильного решения по управлению процессом.

Основной целью статистического анализа точности и стабильности технологического процесса является получение и обработка систематизированной непрерывной информации о качестве продукции, необходимой для дальнейшего совершенствования технологического процесса, а также для определения оптимальных параметров его статистического регулирования.

Под точностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать близость действительных значений параметров к их нормируемым значениям.

Под стабильностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать постоянство распределения вероятностей его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.

Под статистическим анализом точности и стабильности технологического процесса понимается совокупность действий по установлению статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определению закономерностей их изменения во времени.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса должен проводиться в следующих случаях:

- при определении фактической точности технологических операций;
- оценке качества проведенного ремонта оборудования;
- внедрении новых технологических процессов, средств измерений, технологической оснастки и приспособлений;
- уточнении требований к качеству сырья, материалов и комплектующих изделий в случае возникновения разногласий;
- экспертизе готовности производства к выпуску продукции, соответствующей требованиям чертежей, технических условий и стандартов;
- контроле соблюдения технологической дисциплины;
- внедрении статистических методов регулирования технологического процесса и приемочного контроля качества продукции;
- аттестации технологического процесса;
- сертификации выпускаемой продукции и систем качества.

Состояние технологического процесса характеризуется суммарной погрешностью, возникающей вследствие действия причин случайного (случайная составляющая суммарной погрешности) и систематического (систематическая составляющая) характера.

Рассеивание значений параметров вследствие наличия указанных погрешностей с достаточной степенью адекватности может быть аппроксимировано нормальным законом распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (2.1)$$

где x – переменная случайная величина;

μ – математическое ожидание случайной величины x ;

σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины x .

Математическое ожидание μ характеризует положение кривой распределения на отсчетной шкале анализируемого параметра, а среднее квадратическое отклонение характеризует степень рассеяния случайной величины x относительно математического ожидания μ .

Описанный закон характеризует распределение генеральной совокупности, образуемой множеством значений параметров анализируемого ТП, источником же информации о фактическом распределении служит взятая из генеральной совокупности выборка объемом n единиц продукции, по которой рассчитывается экспериментальное распределение в качестве оценки теоретического распределения.

Оценками параметров теоретического распределения являются статистические характеристики:

– выборочное среднее арифметическое значение \bar{x} в качестве оценки математического ожидания μ ;

– выборочное среднее квадратическое отклонение S в качестве оценки σ .

Выборочное среднее арифметическое \bar{x} определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.2)$$

где x_i – отдельные x_1, x_2, \dots, x_n , которые являются измеренными значениями анализируемого параметра i ;

n – объем выборки.

Выборочное среднее квадратическое отклонение S определяется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.3)$$

В качестве характеристики рассеивания может также использоваться размах R , рассчитываемый как разность между максимальным и минимальным значениями параметров в выборке.

Для более точной оценки соответствия распределения параметров в выборке генеральной совокупности предусматривается проверка по критериям согласия.

Оценка точности и стабильности технологических процессов производится с использованием полученных выборочных статистических характеристик S и \bar{x} путем определения показателей коэффициентов точности K_T и настроенности K_H через сопоставление их с установленным в НТД полем допуска δ на параметр:

$$K_T = \frac{6S}{\delta} \leq 1, \quad (2.4)$$

$$K_H = \frac{\bar{x} - x_{\delta}}{\delta} \rightarrow 0, \quad (2.5)$$

где δ – поле допуска на параметр;
 x_{δ} – середина поля допуска.

2.1.3. Пути повышения точности обработки деталей

Все способы повышения точности обработки можно сгруппировать по трем направлениям: повышение качества технологической системы, подавление действующих факторов, управление ходом технологического процесса.

Повышение качества технологической системы осуществляют повышением ее жесткости, геометрической точности, износостойкости, теплостойкости, виброустойчивости.

Повышение жесткости технологической системы может быть достигнуто сокращением числа стыков и звеньев в размерных и кинематических цепях, увеличением жесткости, созданием предварительного натяга, введением дополнительных опор при обработке нежесткой заготовки.

Повышение геометрической точности технологической системы осуществляют устранением или сведением к минимуму неопределенности базирования заготовки посредством создания баз, отвечающих правилам базирования, с соблюдением правил приложения силового замыкания. Технологическими методами решение этой задачи возможно главным образом в результате повышения точности установки сменных элементов технологической системы.

Повышение виброустойчивости системы достигается увеличением жесткости конструкций сменных элементов. Увеличение жесткости повышает частоту колебаний, что, как правило, связано с уменьшением амплитуды колебаний.

Эффективным средством повышения виброустойчивости системы является также обеспечение определенности базирования сменных элементов.

Повышение износостойкости системы осуществляют увеличением износостойкости сменных элементов технологической системы; использованием высококачественного материала, в первую очередь, для

режущего инструмента, а также накладных направляющих; предварительным притуплением режущего инструмента; повышением виброустойчивости системы и качества изготовления режущего инструмента.

Повышение теплостойкости технологической системы осуществляют сокращением вылета режущего инструмента; увеличением его поперечного сечения; увеличением толщины твердосплавной пластины; закреплением обрабатываемых деталей с возможностью компенсации их тепловых деформаций, например, с помощью пружинных гидравлических элементов и др.

Подавление действующих факторов связано с воздействием на причины, вызывающие эти факторы, и непосредственным их снижением.

Сокращение упругих перемещений осуществляют уменьшением действующих сил и моментов за счет снижения режимов резания, неуравновешенности вращающихся частей технологической системы; применением многоинструментной обработки, обеспечивающей встречное действие сил резания и др.

Уменьшение вибрации осуществляется снижением возбуждающих факторов путем балансировки быстровращающихся частей технологической системы, применением виброопор, подбором режимов резания, позволяющих избегать резонанса. Другой способ – подавление вибрации применением виброгасителей.

Снижение износа элементов технологической системы достигается снижением режимов резания, уменьшением вибрации, стабилизацией действующих сил, применением смазочно-охлаждающей жидкости.

Сущность *управления технологическим процессом* заключается в получении информации об управляемой величине, переработке полученной информации и внесении соответствующих коррективов в ход технологического процесса. Управление процессом можно осуществлять по входным и выходным данным и по показателям, характеризующими ход ТП. Качество управления обусловлено точностью получаемой информации, точностью определения необходимой поправки и скоростью внесения этой поправки.

Управление по выходным данным широко применяют на практике. Компенсация погрешности обработки этим способом (этот способ называют активным контролем) осуществляется, как правило, периодически в момент, когда действия систематических факторов приблизят погрешность обработки к границе поля допуска. Чтобы определить этот момент, применяют контроль и строят точечные диаграммы.

Преимуществом управления по выходным данным является простота определения поправки, которую необходимо внести для компенсации погрешности обработки, а недостатком – запаздывание в получении информации, т. к. измеряют деталь после обработки.

Показателями хода технологического процесса являются действующие силы, крутящий момент, температура, упругие перемещения, вибрация и др. С целью управления процессом технологическую систему оснащают различными чувствительными элементами для измерения одного или нескольких выше-

указанных показателей, преобразующими и сравнивающими устройствами, исполнительными механизмами, с помощью которых вносят соответствующие поправки в технологический процесс.

В совокупности все эти устройства образуют систему автоматического управления.

Измеренные величины сравнивают с заданными и в случае их различия вносят соответствующие поправки в технологический процесс.

При этом поправки вносятся в те параметры, которые находятся в функциональной связи с измеряемой величиной, например, при измерении силы могут изменять подачу, геометрию инструмента и др.

Управление по параметрам, характеризующим ход технологического процесса, позволяет компенсировать погрешность в момент ее возникновения.

Управление по входным данным основывается, главным образом, на управлении по программе, что позволяет компенсировать влияние на погрешность обработки систематических факторов, в первую очередь – геометрическую неточность станка. Устройства для этой цели получили название коррекционных устройств.

Преимуществом управления по входным данным является то, что информация поступает с опережением, т. е. до обработки детали, недостатком – необходимость в очень точном математическом описании механизма влияния входных данных на погрешность обработки, с тем чтобы правильно рассчитать поправку.

Установление закона, которому подчиняются распределения производственных погрешностей исследуемого параметра, позволяет определить коэффициент технологической точности изготовления изделий (T_{Π}) и смещение уровня настроенности ТП от середины поля допуска (E) по следующим формулам:

$$T_{\Pi} = \frac{\delta(TY)}{\delta}, \quad (2.6)$$

$$E = \frac{\bar{x} - B_{\text{пр}}(TY)}{2\delta(TY)}, \quad (2.7)$$

где $B_{\text{пр}}(TY)$ и $\delta(TY)$ – значения номинала и половины поля допуска на изучаемый параметр изделия по техническим условиям соответственно;

δ – значения половины поля допуска на изучаемый параметр изделия.

Технологический процесс считается настроенным (удовлетворительным) при $T_{\Pi} \geq 0,9$ и $|E| \leq 0,05$. В этом случае при подчинении распределения производственных погрешностей нормальному закону брак не превысит 0,9 %.

2.2. Стационарное оборудование для маркировки SICe8-C151. Общие сведения

В настоящее время несколько технологий маркировки металлических изделий получили широкое промышленное и коммерческое применение. В промышленности наиболее распространенной технологией является ударно-точечная маркировка.

Ударно-точечная промышленная технология (иные названия – микроперкуSSIONная маркировка, иглоударная маркировка, ударная гравировка металла, выдалбливание, кернение) представляет собой нанесение индивидуальных точек (сферических углублений) карбидным пуансоном на различные виды материалов под управлением электронного контроллера. Маркировочный пуансон приводится в действие с помощью электромагнита. Принцип нанесения напоминает обычный матричный принтер, где изображение формируется из групп точек.

Ударно-точечная маркировка отличается повышенной стойкостью и позволяет сохранять первоначальный вид при любых условиях эксплуатации маркированной продукции.

Эффективность применения такого метода ударно-точечной механической маркировки заключается в высокой скорости обработки изделий, отсутствии расходных материалов, простоте использования аппарата, легкости в изменении наносимых данных, высоком качестве при невысокой стоимости маркировочного оборудования.

Комплект оборудования состоит из контроллера e8 и маркирующего механизма C151.

Стационарное оборудование e8-C151 маркирует все типы материалов, от пластмассы до стали твердостью до 62 HRC. Комплект предназначен для использования в условиях серийного производства.

Электромагнитный привод иглы позволяет маркировать детали с различной формой поверхности (плоские, вогнутые или выпуклые поверхности, круглые поверхности, грубые и обработанные поверхности) и требует только одного источника энергии.

В приведенной ниже табл. 2.2 приводится сравнение устойчивости маркировки к агрессивным средам и воздействиям при ориентировочных затратах на внедрение.

Стационарное оборудование SICe8-C151 использует технологию *ударно-точечной маркировки* и применяется во всех промышленных секторах: автомобильной, авиационной, металлургической промышленности, приборостроении, производстве изделий из пластмасс, железнодорожной промышленности, медицинской отрасли и т. д.

Характеристики различных видов маркировок

Технология	Устойчивость маркировки к агрессивным средам	Себестоимость (порядок цены) по расходным материалам	Инвестиции в оборудование (порядок)	Возможность надежного чтения кода сканером
Каплетруйная	Малая	0,01	6 000–15 000	Низкая
Полимерные этикетки	Высокая	0,03–0,10	2 000–6 000	Высокая
Лазерная	Очень высокая	0,01	40 000–150 000	Средняя
Ударно-механическая	Очень высокая	0,01	8 000–13 000	Средняя
Радиочастотная идентификация (RFID)	Высокая	10,0–60,0	1 000–3 000	Высокая

Технические характеристики:

1) стационарный маркирующий механизм:

- размер маркировочного окна – 160×100 мм;
- максимальная скорость маркировки – 5 сим/с;
- максимальная высота изделия, подлежащего маркировке, – 250 мм;
- глубина маркировки – до 0,5 мм по стали;
- возможность нанесения информации на материалах твердостью до 62 HRC;

2) контроллер e8:

- встроенная герметичная клавиатура;
- графический дисплей;
- внутренняя память на 1000 маркировочных файлов;
- создание и редактирование маркировочного файла;
- управление всеми параметрами маркировки: размер символа, глубина и плотность нанесения точек, скорость маркировки;
- сериализация (автоматическое приращение: цифровое, буквенное, цифробуквенное, по сменам, дате и т. д.);
- возможность ограничения доступа к корректировке наносимой информации через систему паролей;
- возможность нанесения логотипов;
- маркировка 2D-кодов (datamatrix ECC200).

2.3. Расчет точности и настроенности ТП на ЭВМ

Для расчетов на ЭВМ применяются следующие формулы:

1) математическое ожидание (среднее значение): $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$;

2) начальный момент второго порядка: $v_{20} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}$;

3) центральный момент второго порядка: $\mu_{20} = v_{20} - (\bar{x})^2$;

4) среднее квадратическое отклонение: $\sigma_x = \sqrt{\mu_{20}}$;

5) допуск на параметр: $\delta = \frac{3\sigma_x}{x}$;

6) коэффициент технологической точности: $T_{\Pi} = \frac{\delta(TУ)}{\delta}$;

7) смещение уровня настроенности: $E = \frac{\bar{x} - B_{\text{пр}}(TУ)}{2\delta(TУ)}$.

2.4. Порядок выполнения работы

При выполнении работы используются следующее оборудование, оснастка и инструмент:

- установка ударно-точечной маркировки SICe8-c151;
- микроскоп;
- персональный компьютер.

1. Пользуясь прил. 1, произвести технологический процесс обработки детали на установке маркировки SICe8-C151 в соответствии с рис. 2.1.

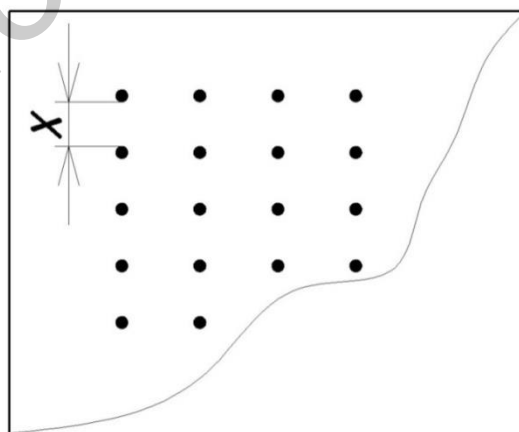


Рис. 2.1. Расположение углублений на заготовке

2. С помощью микроскопа произвести измерения расстояния между углублениями по вертикали в каждом столбце (параметр X на рис. 2.1). Значения занести в программу расчета.

3. С помощью персонального компьютера произвести расчет точности и настроенности ТП: коэффициент технологической точности и смещение уровня настроенности. Определить, настроен ли ТП. В случае если процесс не настроен, предложить свои варианты повышения точности и настроенности ТП.

2.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Таблица результатов измерений.
4. Гистограмма распределения.
5. Результаты расчетов параметров на персональном компьютере.
6. Вывод по работе.

2.6. Контрольные вопросы

1. Производственные погрешности, их классификация и виды.
2. Основные причины возникновения производственных погрешностей.
3. Статистический метод контроля качества, его преимущества.
4. Основные законы распределения производственных погрешностей и их характеристика.
5. Точность и стабильность технологического процесса.
6. Параметры настроенности технологического процесса.
7. Виды маркировки.
8. Ударно-точечная маркировка, ее характеристика.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКИ ПРОВОДНИКОВ МЕТОДОМ «КЛИН–КЛИН» В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Цель работы: изучить процессы сварки в технологии электронной аппаратуры, исследовать влияние технологических параметров на качество соединений.

3.1. Краткие теоретические сведения

При монтаже изделий электронной техники одним из наиболее распространенных способов электрического соединения между контактными площадками кристалла и выводами корпуса является соединение с помощью проволочных выводов (рис. 3.1), что объясняется высокой автоматизацией процесса, универсальностью по отношению к различным технологическим вариантам производства и геометрическим размерам изделий.

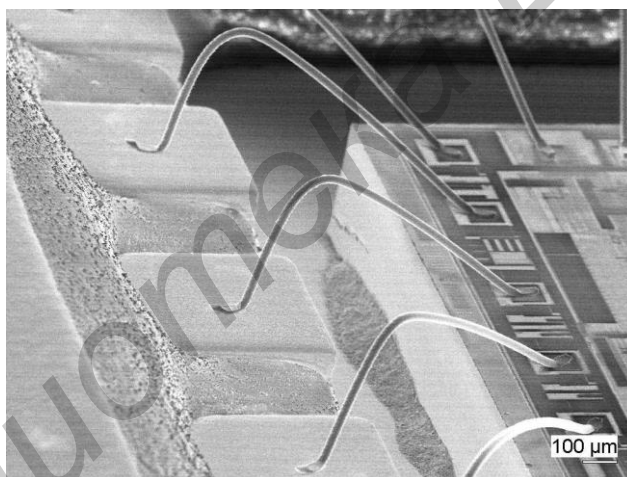


Рис. 3.1. Проволочные соединения между контактными площадками кристалла и внешними выводами прибора

Прогресс в развитии методов формирования межсоединений позволил существенно снизить трудоемкость этих операций и добиться заметных успехов на пути к их полной автоматизации. Однако трудоемкость операций формирования межсоединений остается определяющей в процессе производства изделий микроэлектроники и для разных типов приборов составляет от 30 до 60 % всей трудоемкости сборки. При этом на долю разрушения межсоединений приходится и значительный процент отказов изделий при эксплуатации. Поэтому выбору метода присоединения выводов в изделии уделяется особое внимание [1].

Среди основных методов присоединения микропроводников, таких, как термокомпрессионная сварка (ТКС), ультразвуковая сварка (УЗС), термозвуковая сварка (ТЗС), сварка расщепленным электродом, сварка косвенным импульсным нагревом, наиболее широкое распространение получили методы ТЗС «шарик–клин» с использованием золотой (медной) проволоки диаметром 17,5–50 мкм и УЗС «клин–клин» для алюминиевой проволоки диаметром 20–500 мкм [2]. Золотую проволоку также присоединяют методом «клин-клин», используя при этом подогрев изделия (иногда и микроинструмента). Последовательность присоединения проводника методом ультразвуковой или термозвуковой сварки показана на рис. 3.2.

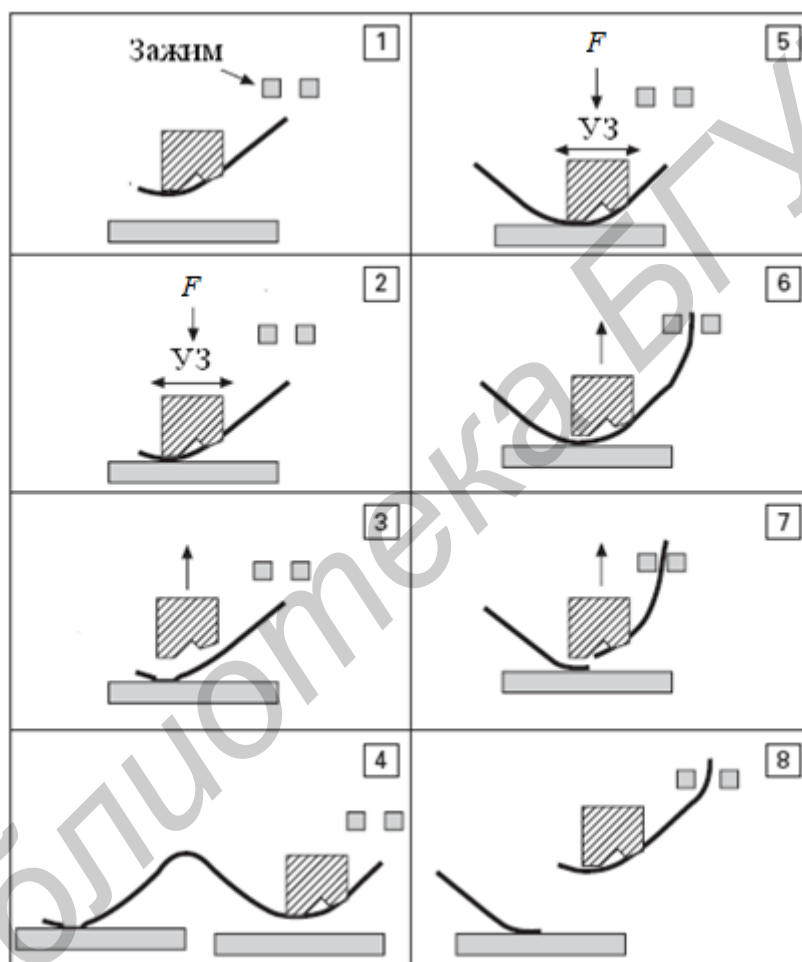


Рис. 3.2. Последовательность присоединения проводника методом «клин–клин»

Основой любой установки микросварки является ультразвуковая система, включающая ультразвуковой генератор (УЗГ) и ультразвуковой преобразователь (УЗП), преобразующий электрическую энергию в энергию механических колебаний. Конструкция УЗП состоит из следующих составных частей (рис. 3.3): пьезоэлектрического вибратора 1, состоящего из пьезокерамических колец, стянутых между собой шпилькой с металлическими

накладками; цилиндрического держателя (стакана) 2, закрепленного в узле волновода 3 и предназначенного для крепления УЗ системы в сварочной головке установки. На конце волновода закреплен микроинструмент 4 с помощью клеммного или торцевого зажима. Сечение волновода обычно уменьшается к месту крепления микроинструмента, чем достигается необходимый коэффициент усиления механических колебаний.

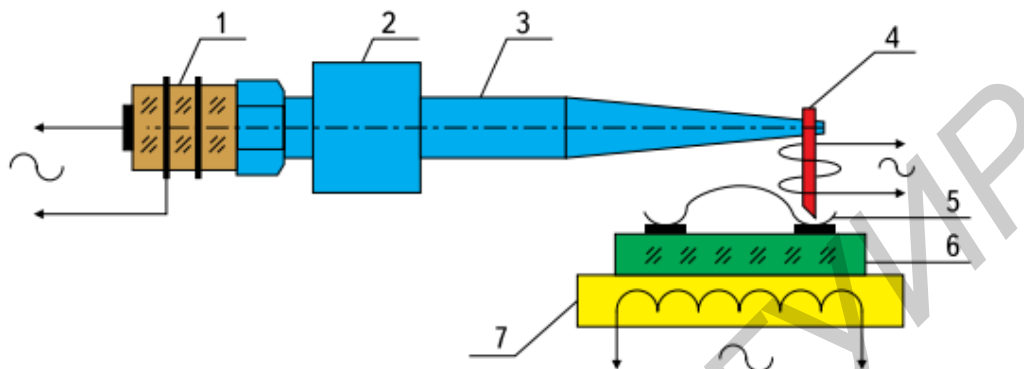


Рис. 3.3. Схема ультразвуковой системы микросварки:
1 – УЗ-преобразователь; 2 – стакан; 3 – волновод; 4 – инструмент;
5 – микропроводник; 6 – кристалл; 7 – столик

Схема УЗ технологической системы микросварки повышенной частоты представлена на рис. 3.4. В состав УЗ технологической системы микросварки входит пакетный пьезоэлектрический преобразователь, состоящий из четырех колец пьезокерамики, волновод-концентратор из стали, стальная и алюминиевая накладки.

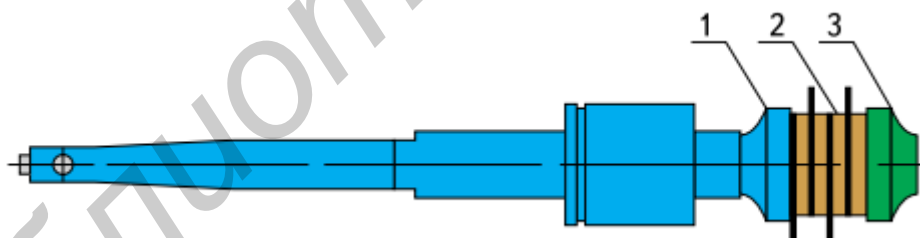


Рис. 3.4. Схема ультразвуковой технологической системы микросварки:
1 – стальная накладка; 2 – пьезопакет; 3 – алюминиевая накладка

Ультразвуковая микросварка методом «клин–клин» заключается в следующем. Микропровода с катушки подается под торец микроинструмента под углом 30° через капиллярное отверстие (позиция 1 на рис. 3.2). Эта операция заправки проволоки перед началом работы выполняется с помощью пинцета оператором и требует определенного навыка и тренировки. Для этого прежде всего необходимо пространственное представление геометрии рабочего торца инструмента, показанное на рис. 3.5.

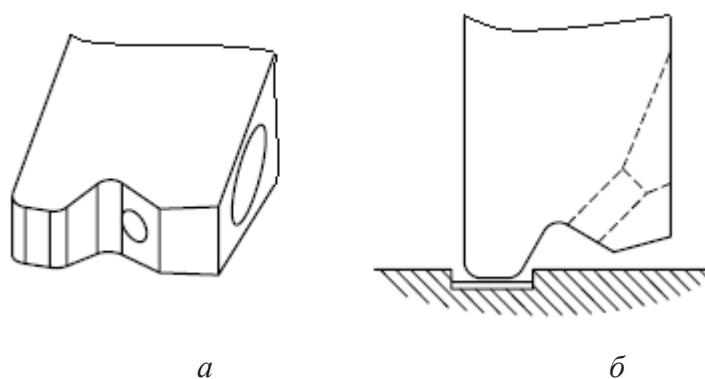


Рис. 3.5. Геометрия рабочего торца микроинструмента:
а – вид снизу; *б* – вид сбоку

После заправки проволоки по команде пуск происходит автоматическое опускание инструмента на программируемую высоту совмещения над позицией первой сварки (позиция 2 на рис. 3.2). На этой высоте положения инструмента оператор может с помощью ручного манипулятора сделать точное совмещение с точкой сварки. По дальнейшей команде инструмент опускается на позицию сварки с заданным усилием (позиция 3 на рис. 3.2), происходит автоматический запуск ультразвукового генератора, возбуждающий ультразвуковой преобразователь, и механические колебания через инструмент передаются в зону сварки. При заданном усилии инструмента на свариваемые материалы энергия ультразвуковых колебаний размягчает проволоку и материал контактной площадки, удаляет на периферию сварной точки загрязнения и окислы, в результате чего чистые поверхности материалов образуют прочное соединение. После выполнения первого присоединения инструмент поднимается на программируемую высоту переемычки (позиция 4 на рис. 3.2) и перемещается в позицию второй сварки (позиция 5 на рис. 3.2). В позиции 6 производится точное совмещение со второй точкой сварки и в позиции 7 выполняются последовательно вторая сварка и отрыв проволоки от места второй сварки. В позиции 8 производится автоматическая подача проволоки под торец микроинструмента (см. рис. 3.2). В результате данных операций образуется проволочное соединение, называемое проволочной переемычкой, или стежком. Далее процесс повторяется. При термозвуковой сварке используется подогрев зоны сварки (прибора и/или инструмента), обычно при присоединении золотой или медной проволоки до 150–200 °С. Одним из преимуществ использования ультразвуковой сварки алюминиевой проволоки является возможность присоединения при комнатной температуре, что позволяет сваривать проводники из Al и Au. Быстросменная сварочная головка позволяет осуществлять оперативный переход на сварку методом «шарик–клин». Кроме того, есть исполнение установки ЭМ-4320 для присоединения Au и Cu выводов методом микроконтактной сварки расщепленным электродом типа ЭК-1, ЭК-2. В установке ЭМ-4320 (сварка «клин–клин»/«шарик–клин») используется ультразвуковая система повышенной частоты – 110 кГц. Использование подобных систем в установках микросварки в настоящее время

является мировым стандартом. Основное достоинство УЗ систем с частотой 100 кГц – возможность присоединения проводников, преимущественно золотых, при более низких температурах, чем при применении «традиционных» УЗ систем на 60 кГц. Автономный УЗГ выполнен с микроконтроллерным управлением, обеспечивающим автоматическую настройку на резонансную частоту и контроль основных параметров (импеданс, частота). Максимальная выходная мощность УЗГ на стандартной нагрузке 35 Ом составляет 4 Вт, что позволяет присоединять проводники диаметром/толщиной до 75 мкм. Для монтажа алюминиевых ленточных межсоединений (210×40 мкм) разработана многоопциональная установка ЭМ-4320 (УП «КБТЭМ–СО») с опцией разварки «клин–клин» (рис. 3.6). Особенностью данной установки является наличие рабочего столика с подогревом рабочей зоны до 350 °С.



Рис. 3.6. Многоопциональная сварочная установка ЭМ-4320

Качество получаемых соединений оценивают прежде всего по внешнему виду и с помощью испытания на прочность полученных перемычек тянущим усилием с помощью крючка, как показано на рис. 3.7.

$$F = F_1 + F_2 \quad \text{при} \quad \beta_1 = \beta_2 = 30^\circ. \quad (3.1)$$

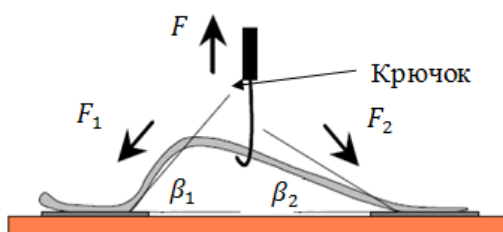


Рис. 3.7. Испытание на прочность перемычек тянущим усилием с помощью крючка

Для проведения подобных испытаний используются как простые часовые графмометры (рис. 3.8), так и сложное дорогостоящее оборудование, позволяющее проводить испытания приборов по заданной программе.

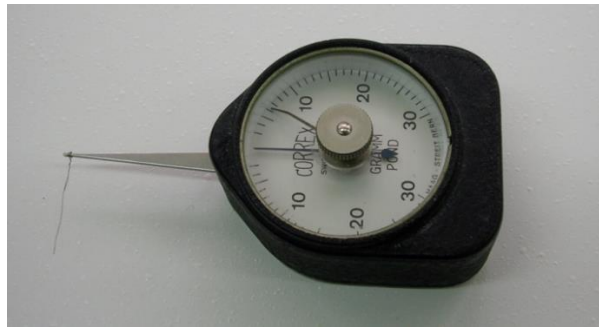


Рис. 3.8. Граммометр часового типа

При ультразвуковой микросварке для получения высокого выхода годных изделий необходимо использовать качественные исходные материалы. Для контроля и сравнения качества получаемых сварных соединений и оценки покрытий контактных поверхностей можно использовать метод измерения переходного сопротивления. Суть метода заключается в следующем. На установке присоединения ультразвуковой микросварки методом «клин–клин» выполняются две одностежковые перемычки №1, №2 и одна двухстежковая (рис. 3.9). Через переходное сопротивление R_{Π} задается постоянный ток величиной 5 мА. Падение напряжения на переходном контакте измеряется милливольтметром с высоким входным сопротивлением (более 1 МОм). Величина переходного сопротивления вычисляется по формуле (3.2):

$$R_{\Pi} = \frac{U}{I}, \quad (3.2)$$

где U – напряжение вольтметра;
 I – ток, заданный источником тока (5 мА).

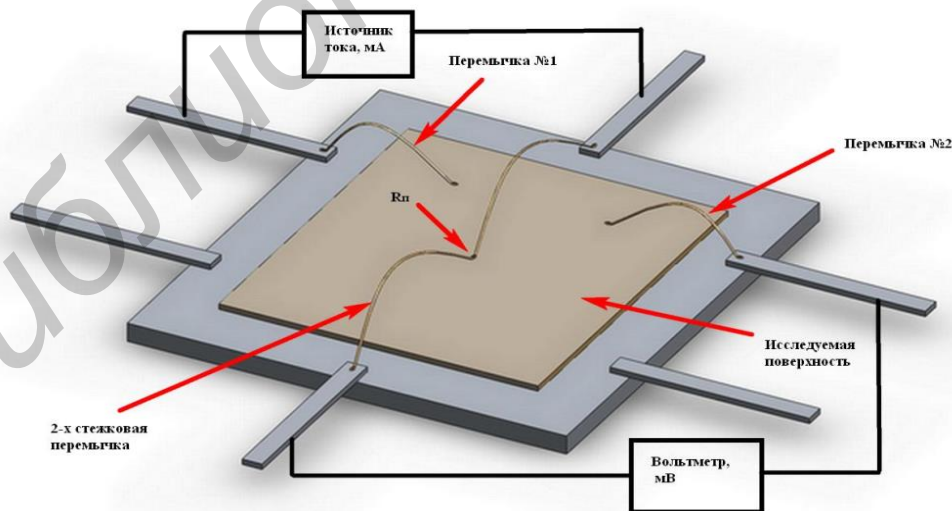


Рис. 3.9. Схема измерения переходного сопротивления микросварного соединения

По данной методике можно последовательно измерить переходное сопротивление при различных режимах ультразвуковой сварки и свести результаты в таблицу.

3.2. Принципы работы с оборудованием

3.2.1. Работа с установкой ЭМ-4320







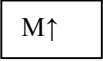
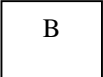

Работы выполняются на установке ЭМ-4320. В основе работы установки использован метод введения ультразвуковых колебаний в зону контакта проволоки с контактной площадкой кристалла или траверс платы после сжатия соединяемых элементов с определенным усилием. Для получения качественных соединений в установке предусмотрено регулирование усилий нагружения, времени и температуры сварки, траектории перемещения сварочного инструмента, времени и мощности ультразвукового импульса. Работа установки состоит из следующих операций:

- подача в рабочую зону платы (корпуса) с посаженным кристаллом (вручную);
- программирование с помощью технологической клавиатуры и экрана ЖКИ необходимых траекторных и технологических (мощности сварки, времени сварки) параметров;
- совмещение точки сварки со сварочным инструментом и нажатие кнопки на ручке.

Перечень органов управления установкой, выведенных на пульте оператора, приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Органы управления установкой ЭМ-4320

Обозначение	Наименование
1	2
 	Кнопки перемещения курсора (*) вниз и вверх
	Кнопка входа в выбранный режим или раздел
	Кнопка выхода из режима
 	Кнопки цифровой клавиатуры
 	Кнопки перемещения привода
	Кнопка вывода приводов в исходное положение
	Кнопка включения/выключения механизмов

1	2
STR	Кнопка запуска механизмов
STP	Кнопка остановки механизмов
RES	Кнопка аппаратного сброса

Внешний вид клавиатуры пульта оператора и ЖКИ показаны на рис. 3.10 и 3.11.



Рис. 3.10. Клавиатура пульта оператора



Рис. 3.11. ЖКИ пульта оператора

После включения установки на экране ЖКИ появляется информация о модели установки. Обратите внимание на нижнюю строку режима работы. Там должна быть надпись STANDARD. Если ее нет, то установите принудительно нажатием кнопки F на пульте оператора. Далее нажмите кнопку ENT и на

экране появится изображение, как на рис. 3.11 (цифровые значения могут отличаться, поскольку задаются оператором). Разберемся, что мы видим на экране ЖКИ. Первая строка BY STEP OFF означает, что установка находится в режиме полуавтоматического цикла выполнения перемишки. Чтобы изменить значение на пошаговое выполнение цикла, необходимо курсор «*» (см. рис. 3.11) переместить в позицию первой строки кнопками со стрелками вниз/вверх (см. табл. 3.1). Затем нажать кнопку ENT и строка изменится на пошаговый режим BY STEP ON. Повторное нажатие ENT приведет к возврату к BY STEP OFF. Таким образом, при необходимости изменения параметра нужно сначала подвести курсор к изменяемому параметру.

Информация в правом верхнем угле ЖКИ отображает положение по координате Z инструмента, например, HOME означает исходное положение. Параметр LOOP x показывает номер выполняемой перемишки. Установка позволяет запрограммировать до девяти различных перемишек, например различных по высоте. Для лабораторной работы оставляем значение LOOP 1. А параметр STITCH x в нашей работе необходимо будет изменять на 1 и 2, т. к. будут выполняться две одностежковые перемишки (STITCH 1) и одна двухстежковая перемишка (STITCH 2). Изменение значения STITCH x выполняется, как было описано выше, – подводится курсор «*» к параметру и нажимается соответствующая цифра 1 или 2. Далее внимательно записываем длину выполняемого стежка. Для этого переводим курсор «*» в позицию третьей строки ЖКИ: BOND1(2) xxxx Y xxxx.

Нажимаем кнопку 1 для выбора первой точки сварки. Третья строка принимает вид BOND1 xxxx Y xxxx. Курсор в виде мигающего прямоугольника переводим в позицию Y нажатием кнопки F. Повторное нажатие кнопки F переводит курсор в предыдущее положение (Z). Далее записываем координату первой точки в диапазоне 50–400. Для этого кнопками M_↓ и M_↑ двигаем привод Y и устанавливаем в меняющейся координате любое значение от 50 до 400. Нажимаем кнопку ENT и координата справа от Y переписывается слева от Y, например:

BOND 1 0060 Y 0060

Координата первой точки сварки по координате Y записана. Для записи второй точки процедура записи аналогична, с той лишь разницей, что координата второй точки должна быть больше первой (хотя бы на один дискрет).

После записи координаты первой сварки по координате Y нажимаем кнопку 2 – появляется BOND 2 xxxx Y xxxx. Аналогично кнопками M_↓ и M_↑ двигаем привод Y и устанавливаем в меняющейся координате значение большее, чем значение координаты первой сварки. При нажатии кнопки ENT значение записывается слева от Y. Разница координат второй точки и первой есть длина перемишки (стежка). Например, для первой точки записано

BOND 1 0060 Y xxxxx (x – произвольное значение)

BOND 2 0460 Y xxxxx (x – произвольное значение)

Тогда длина перемычки равна $460 - 60 = 400 \times 5 = 2000 \text{ мкм} = 2 \text{ мм}$ (1 дискрет = 5 мкм).

В дальнейшем можно изменять только координату второй точки и тем самым изменять длину стежка.

Осталось записать координаты высоты первой и второй сварки. Для этого нажимаем кнопку F и переводим курсор в виде мигающего прямоугольника в позицию Z. Далее стрелками вверх/вниз перемещаем курсор «*» в позицию четвертой строки ЖКИ TOUCH 1(2) xxxx Z xxxx и нажимаем кнопку 1 (высота первой точки). Подводим манипулятором прибор под позицию инструмента (можно использовать светуказку) и нажимаем кнопку ENT. Инструмент медленно начнет опускаться до касания первой точки и вернется в исходное положение. Если инструмент не попал в позицию первой точки, повторите операцию. Для записи второй точки нажать кнопку 2. Сделать подсовмещение со второй точкой сварки и нажать кнопку ENT. Координаты стека записаны. Остается задать параметры сварки, а именно мощность и время ультразвукового генератора.

Последовательность изменения значений на экране ЖКИ при нажатии соответствующих клавиш на пульте оператора представлена на рис. 3.12.

Оставшиеся параметры задаются в устройстве ультразвукового генератора (рис. 3.13).

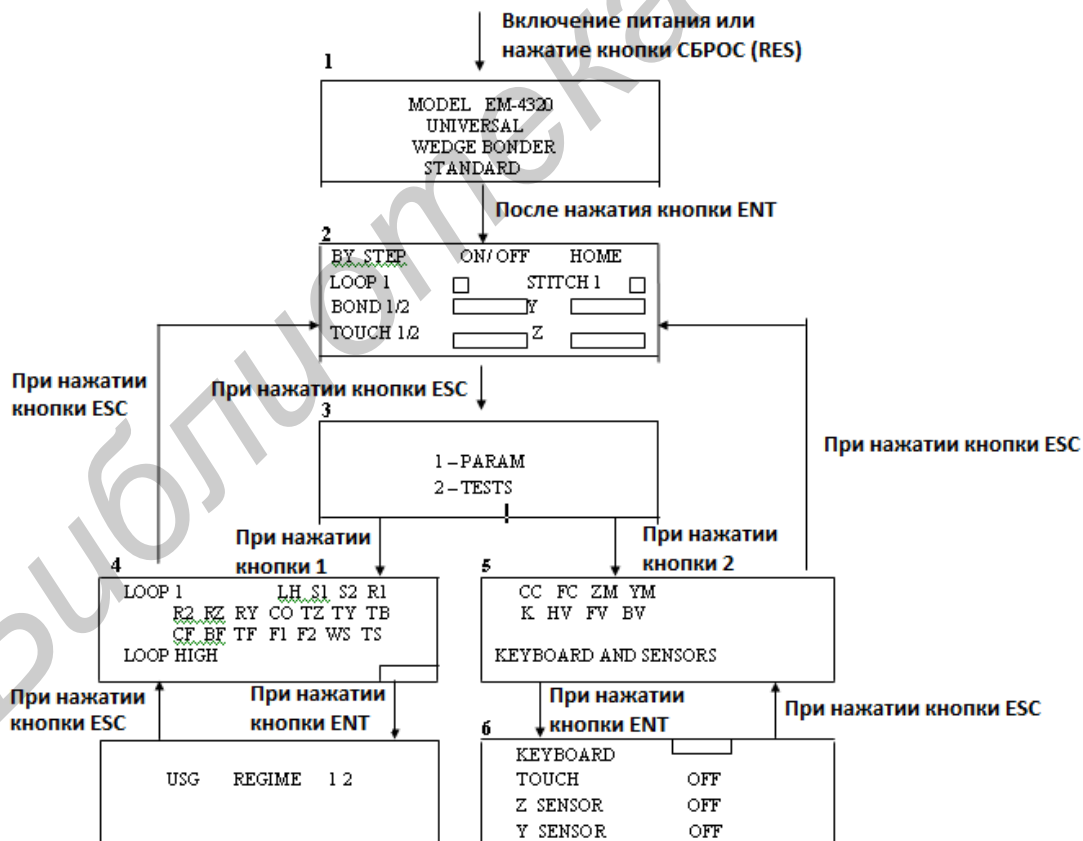


Рис. 3.12. Последовательность изменения значений на экране ЖКИ при нажатии соответствующих клавиш на пульте оператора

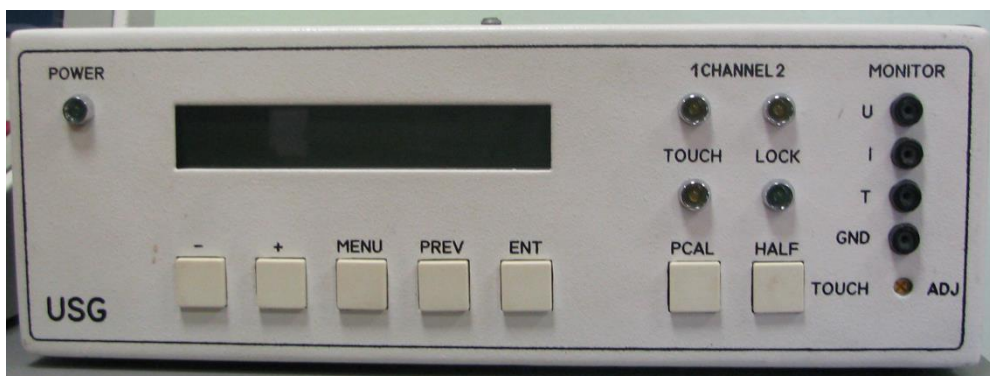


Рис. 3.13. Ультразвуковой генератор

Назначение элементов управления генератором:

- 1) «-» – предыдущий элемент/уменьшить значение;
- 2) «+» – следующий элемент/увеличить значение;
- 3) «MENU» – вход в меню дополнительных настроек;
- 4) «PREV» – возврат к предыдущему шагу настроек (выход из режима редактирования);
- 5) «ENT» – вход в режим редактирования;
- 6) «PCAL» – калибровка;
- 7) «HALF» – подача импульса половинной мощности для проверки.

Проверим значения, выставленные в данный момент. На экране отображается информация вида

POWER1	XXX	TIME 1	XXX	(XXX – произвольное значение)
POWER2	XXX	TIME 2	XXX	(XXX – произвольное значение)

Здесь указаны мощность и длительность импульса для первой и второй точек сварки соответственно.

Чтобы изменить параметры, необходимо войти в режим редактирования, для чего следует нажать ENT. После этого появится курсор в форме галочки «>». Повторное нажатие меняет его на звездочку «*», что означает, что данный параметр в данный момент изменяется. При однократном нажатии клавиши «-» или «+» значение уменьшится или увеличится на одну единицу соответственно. При длительном нажатии клавиши «-» или «+» за один раз значение будет меняться на пять единиц за 0,5 с. При установлении необходимого значения следует нажать ENT, значение будет записано. Для перехода к следующему параметру нажмите «+». После того как все параметры будут выставлены, нажмите клавишу PREV, что вернет генератор в рабочий режим.

Для проверки частоты колебаний, подаваемых на инструмент, нажмите клавишу PCAL. На экране будет отображена необходимая информация.

3.2.2. Работа с граммометром

Для контроля прочности применяется граммометр со штативом (рис. 3.14).

Для произведения измерений необходимо установить исследуемую пластину в крепление. При помощи регулятора высоты выставить пластину в креплении на необходимую высоту для зацепления петли стальной проволокой. После закрепления петли регулятором постепенно опускать пластину, параллельно наблюдая за показаниями на граммометре. Зафиксировать последнее значение перед разрывом петли.

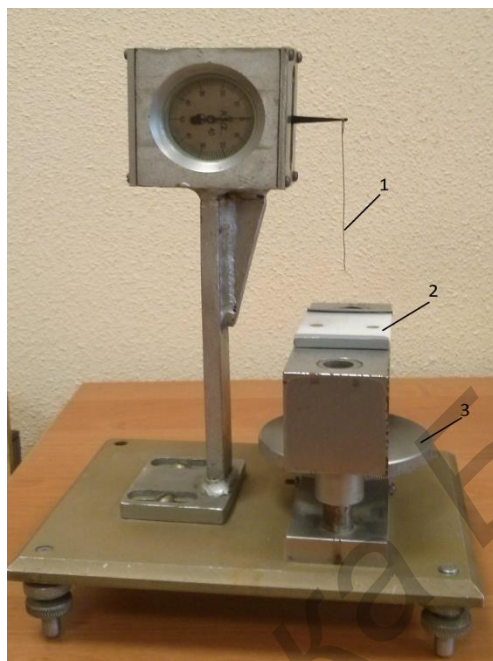


Рис. 3.14. Установка для контроля прочности соединений:
1 – стальная проволока; 2 – крепление; 3 – регулятор высоты

3.3. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя пластину, на которой будет проводиться сварка, макет с готовой платой, на которой будут проводиться измерения переходного сопротивления $R_{п}$, набор микросхем после операций микросварки проводных соединений контактных площадок кристалла с выводами корпуса микросхемы.

2. Включить установку, изучить расположение органов управления и их назначение.

3. Установить необходимые значения параметров, произвести сварку в два этапа:

- при неизменной длительности импульса с изменением мощности;
- при неизменной мощности с изменением длительности импульса.

4. Провести измерения соединений на прочность.

5. На макете провести измерения переходного сопротивления $R_{п}$, как показано на рис. 3.9, пользуясь формулой (3.2), провести расчеты.

6. На основании полученных результатов заполнить табл. 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Измерение параметров сварки при постоянном значении длительности импульса

№ опыта	Сварка (длительность импульса – постоянное значение)		
	Мощность, отн. ед.	Прочность, Н	Переходное сопротивление, Ом
1			
2			
...			

7. Построить графические зависимости прочности соединений и переходного сопротивления от мощности сварки и длительности импульса.

8. На полученном макете с микросхемой изучить ее внутреннюю структуру электрических соединений между контактными площадками полупроводникового кристалла и выводами корпуса микросхемы.

Таблица 3.3

Измерение параметров сварки при постоянном значении мощности

№ опыта	Сварка (мощность – постоянная)		
	Длительность импульса, мс	Прочность, Н	Переходное сопротивление, Ом
1			
2			
...			

9. Провести с помощью осциллографа контроль функционирования микросхем после операций сварки проводных соединений контактных площадок кристалла с выводами корпуса микросхемы. В неисправных микросхемах с помощью микроскопа провести анализ электрического монтажа «кристалл – выводы корпуса».

10. Сделать выводы на основе полученных данных.

3.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Экспериментальные данные.
4. Расчет переходного сопротивления.
5. Графические зависимости.
6. Выводы.

3.5. Контрольные вопросы

1. Основные методы присоединения микропроводников.
2. Материалы проволок для микросоединений методом ультразвуковой сварки.
3. Схема ультразвуковой системы микросварки.
4. Процесс ультразвуковой микросварки методом «клин–клин».
5. Функциональные возможности многоопциональной сварочной установки ЭМ-4320.
6. Методы контроля качества микросоединений, получаемых с помощью ультразвуковой сварки.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛИНЕЙНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цель работы: изучить прецизионные электроприводы как элементы технологической системы; исследовать характеристики перемещения объектов, изучив задаваемые и контролируемые параметры; научиться программировать схему перемещений линейного синхронного двигателя (ЛСД).

4.1. Краткие теоретические сведения

Развитие и достижения естественных и технических (прикладных) наук и отраслей промышленности во многом связаны с прогрессом в повышении точности технологических процессов и измерений. Современные методы изготовления измерительной аппаратуры, оптических изделий, механической и лучевой обработки материалов, сборочные и манипуляционные процессы в большинстве случаев требуют управления движением с высокой точностью при относительно больших перемещениях. Наиболее эффективным для выработки движущих сил (моментов) являются электроприводы, которые преобразуют электрическую энергию в необходимое движение.

Классификация электроприводов приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Классификация электроприводов

Классификационный признак	Классификационные градации
По виду движения электродвигателя	вращательного движения; линейный; многокоординатного движения
По способу соединения двигателя с рабочим органом	редукторный; безредукторный; конструктивно-интегрированный
По регулируемости	нерегулируемый; многоскоростной; регулируемый
По степени автоматизации	с ручным управлением; с полуавтоматическим управлением; с замкнутой САР скорости с ручным заданием; с замкнутой САР положения, обеспечивающей точное позиционирование; с программным управлением; следающий
По числу электродвигателей	одновдвигательный; многодвигательный
По числу рабочих органов	индивидуальный; групповой

В большинстве современного автоматизированного оборудования в качестве координатной системы используют вращательные электрические моторы, где с помощью механических трансмиссий вращательное движение преобразуется в линейное обратнопоступательное движение. Однако исторически стремление к повышению точности воспроизведения заданных законов механического движения в рамках редукторных электроприводов (ЭП) выявило их серьезные недостатки, устранение которых стало трудно разрешимой задачей при статических и динамических погрешностях менее 10^{-5} " (угл. с) или 5–1 мкм. Зазоры и люфты в редукторах и преобразователях вращательного движения в линейное, зависимость коэффициента редукции от угла поворота, вызывающая при определенных условиях параметрические колебания в электроприводе, пониженная жесткость механических деталей, особенно в области зубцовых зацеплений, наличие в механизме избыточного числа опор, вносящих нелинейные возмущения в движение, — это далеко не полный перечень факторов, затрудняющих создание высокоточных редукторных электродвигателей.

Теория и практика проектирования высокоточных систем накопила определенный опыт по ослаблению влияния негативных факторов на качественные показатели механического движения. Для устройств с относительно низкими рабочими скоростями и ускорениями улучшение характеристик редукторной передачи достигается за счет повышенной точности обработки, применения устройств люфтовывибирания. Однако это не улучшает жесткости механической части, т. к. организация распора в зубцовом зацеплении за счет пружин или электродвигателей, работающих на общую ось, ухудшает эквивалентную жесткость передачи. Приходится увеличивать массу и габаритные размеры установки, вводить дополнительные корректирующие устройства. Это, в свою очередь, требует установки дополнительных датчиков или реализации наблюдающих устройств. Система становится чувствительной к изменению параметров, требуется дополнительная мощность электропривода для эффективной работы цепей коррекции, приходится переходить к системам с адаптацией и т. д. В результате прецизионный электропривод становится сложным, существенно затрудняется его анализ и синтез, возрастает вероятность ошибок при проектировании.

В то же время во многих случаях можно полностью отказаться от использования кинематических преобразователей между двигателем и рабочим механизмом, т. е. соединить подвижную часть двигателя с нагрузкой и объединить их в единое интегрированное устройство, включающее в себя также датчики механических и электрических переменных. Такой электропривод (ЭП), у которого отсутствуют кинематические преобразователи, классифицируется как *безредукторный*, или *прямой*.

Термин «прямой электропривод» (от англ. *direct drive*) появился в 70-е годы XX в. применительно к безредукторным электроприводам аудио- и видеоаппаратуры, в которых использовались синхронные машины малой мощности с самокоммутацией. Этот привод с прямым электромеханическим

преобразованием получил распространение благодаря высокой стабильности частоты вращения, компактности и надежности, но занял довольно скромное место на рынке точных электроприводов до появления его более мощных версий. В 1984 г. американская компания Adept Technology применила прямой электропривод в роботах типа SCARA – началась эра использования этого электропривода в роботах. Развитие цифровой и силовой электротехники, появление новых конструкций датчиков и синхронных машин (линейных и планарных) позволило на другом уровне мощностей и значительно точнее управлять прямым электромеханическим преобразованием. Так мощность отдельных образцов прямого электропривода выросла до сотен киловатт, а типовые значения погрешностей углового и линейного позиционирования достигли единиц секунд и микрометров, что с полным правом позволило назвать такой привод прецизионным (высокоточным).

Прямой ЭП имеет существенные преимущества перед ЭП с кинематическими преобразователями. Наиболее важное – создание усилия без потери скорости или точности, т. к. оно передается электромагнитной индукцией быстрее и точнее, чем посредством трения, используемого в кинематическом преобразователе. Другие преимущества – отсутствие дополнительных нелинейностей и упругостей, ухудшающих качество воспроизведения движения и полосу пропускания ЭП, а также увеличение срока службы вследствие отсутствия износа силовых механических компонентов.

Области применения двигателей на основе прямого привода:

- производство полупроводниковых изделий и радиоэлектроники;
- системы перемещения предметов;
- медицинская техника;
- оборудование для торговли и бытовая техника;
- электротранспортные системы;
- оборудование для упаковки;
- промышленные станки и технологическое оборудование;
- полиграфическое оборудование и множительная техника;
- военная техника.

Для наглядности принципа работы линейного синхронного двигателя, необходимо взять обычный электрический вращающийся двигатель, разрезать его и развернуть на плоскости, таким образом получается линейный синхронный двигатель (рис. 4.1).

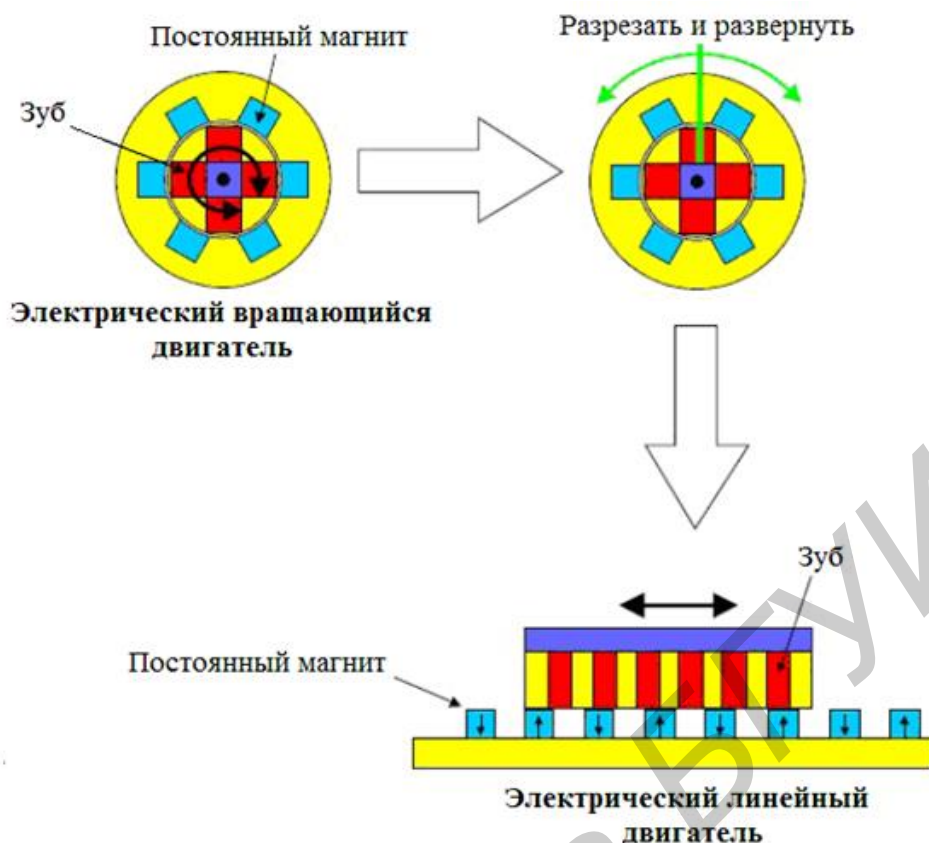


Рис. 4.1. Преобразование ЭД в ЛСД

Прецизионный прямой ЭП можно классифицировать как высокоточный ЭП с прямым (безредукторным) преобразованием электрической энергии в механическую.

Электропривод состоит из следующих устройств:

- устройства управления, которое реализует функции управления, регулирования и измерения;
- вентильного двигателя, включающего электрический преобразователь, электромеханический преобразователь, синхронную машину и датчик положения;
- рабочего органа.

Пример конструкций электромеханических преобразователей для вращающихся и линейных прямых ЭП на основе синхронных машин с постоянными магнитами (СМПМ) показан на рис. 4.2. Для получения линейной конструкции базовая конструкция СМПМ «разрезается» вдоль оси и разворачивается в плоскости. Вращающееся поле машины при этом преобразуется в бегущее: получается линейная синхронная машина (ЛСМ). Если провести топологическое преобразование дальше и «свернуть» якорь и статор линейной машины вокруг продольной оси, то получится цилиндрическая ЛСМ, используемая в основном на малых ходах. Если требуются высокий момент и относительно низкая скорость, что типично для прецизионных прямых ЭП, то, удлинив развертку статора и ротора прототипа и

снова «свернув» их, можно получить так называемый моментный двигатель (МД) с отношением диаметра ротора к его длине, значительно большим единицы.

Главным элементом двигателей на основе прямого привода является исполнительный двигатель или якорь. В классическом исполнении линейного двигателя якорь состоит из алюминиевого корпуса, внутри которого находится шихтованный магнитопровод со вставленными в пазы катушками, пропитанными лаком и залитыми эпоксидным компаундом. Статор состоит из стальной пластины с наклеенными редкоземельными магнитами.

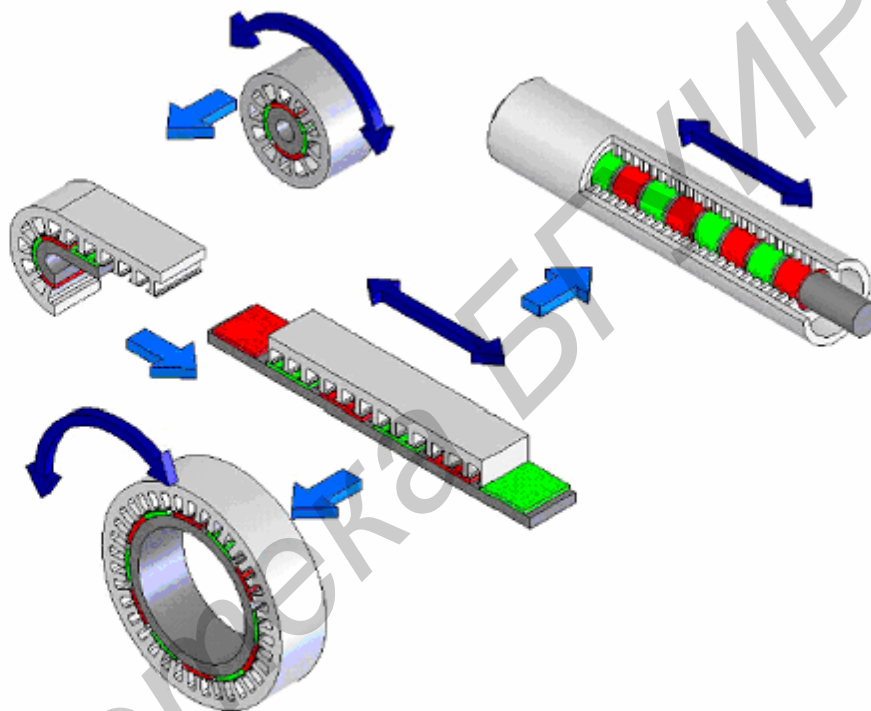


Рис. 4.2. Примеры конструкций электромеханических преобразователей на основе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов

При подаче постоянного тока на обмотку магнитопровода создается магнитное поле с полюсами на его концах. Меняя направление тока в фазовых обмотках, можно установить нужную полярность полюсов P1–P4, при этом сила, действующая на полюса электромагнитного фазового модуля (ЭФМ), будет направлена к состоянию равновесия, т. е. к наибольшему совмещению полюса ЭФМ с полюсом магнитной дороги противоположной полярности. На рис. 4.3 изображено состояние фиксации ЭФМ полюсами P1 и P2.

В этом случае статор создает стационарное магнитное поле со стабильным уровнем намагниченности воздушного зазора, формируя так называемую магнитную дорогу. Вследствие взаимодействия со статическим полем статора реализуется перемещение подвижного элемента исполнительного мотора.

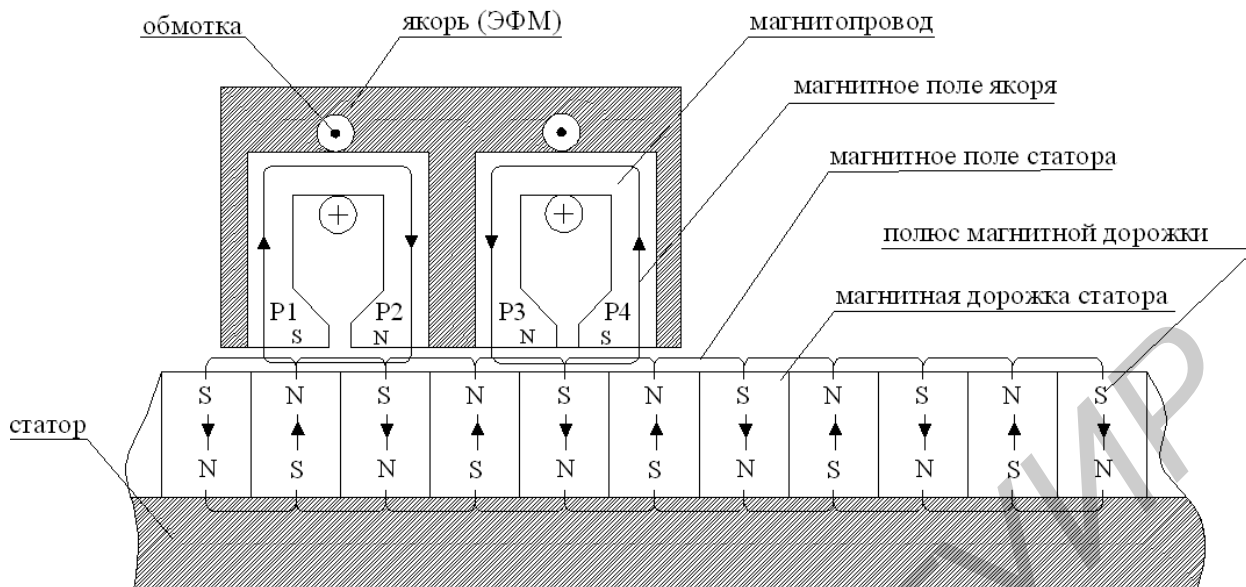


Рис. 4.3. Принципиальная схема ЛСД

Существует несколько разновидностей линейного синхронного двигателя. Классический вариант реализации данного типа двигателя – пазовый линейный синхронный двигатель (рис. 4.4).

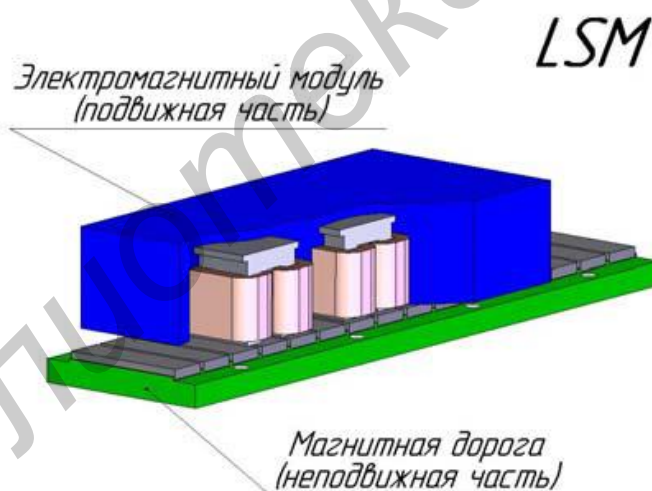


Рис. 4.4. Пазовый линейный синхронный двигатель

Блок электромагнитных модулей размещается в алюминиевом корпусе, выполненном с набором крепежных отверстий, и при необходимости системой охлаждения для мощных электродвигателей. В корпусе встраивается набор шихтованных сердечников из электростали, несущих на себе катушки из медного провода или медной шины. Взаимное геометрическое расположение сердечников в корпусе с катушками позволяет при определенной схеме коммутации обеспечить бегущее магнитное поле в нижней плоскости двигателя при подаче трехфазного напряжения 540 (300) В. Индуцированное магнитное

поле взаимодействует со статическим полем постоянных магнитов, расположенных в плоскости магнитной дороги, создавая синхронизирующее усилие в продольном направлении по всей площади зазора между подвижной и неподвижной частью линейного двигателя.

В такой конструктивной реализации линейного двигателя, кроме продольного усилия в пределах 500–5000 Н, возникает также усилие в поперечном направлении (усилие магнитного притяжения), значение которого в 3–4 раза превышает тяговое усилие двигателя. Усилие магнитного притяжения прикладывается к системе линейных направляющих, обеспечивая их предварительный натяг и выбирая все зазоры в вертикальном направлении.

Широкое применение этот тип двигателя прямого действия получил в порталных конструкциях различного назначения, начиная от систем автоматической упаковки и плазменного/лазерного раскроя материала и заканчивая прецизионными электроэрозионными станками, гравировальными машинами и транспортными системами.

Однако, несмотря на то что пазовые синхронные двигатели характеризуются высокими удельными тяговыми характеристиками и равномерностью тягового усилия, тем не менее пазовые двигатели имеют сравнительно высокое усилие притяжения якоря к статору, обусловленное взаимодействием ферромагнитного магнитопровода якоря с постоянными магнитами статора. Высокое усилие притяжения увеличивает нагрузку и силу трения в линейных подшипниках, что нежелательно для ряда прецизионных применений с низкими скоростями перемещения, например в шлифовальных станках с прямым приводом. Усилие притяжения пазового якоря к постоянным магнитам статора может быть скомпенсировано в симметричных пазовых линейных синхронных двигателях (рис. 4.5), особенностью конструкции которых является расположение якоря между двумя статорами, в результате чего усилия притяжения взаимно компенсируются.

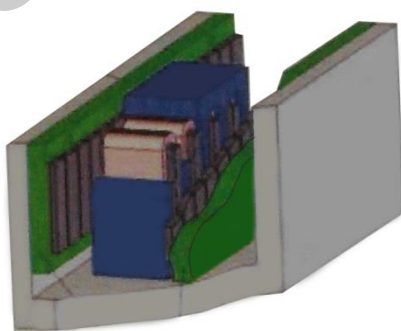


Рис. 4.5. Симметричный пазовый линейный синхронный двигатель

В данной конструкции электромагнитный модуль помещен между двумя магнитными дорогами, что обеспечивает компенсацию сил магнитного притяжения. Данный тип двигателя прямого действия применяется в системах, где требуемое развиваемое усилие превышает 5 кН, и теоретически, путем секционной сборки, может быть собран мотор с тягой в несколько десятков

килоньютонов. Основная область применения данного типа двигателя – высокодинамичные системы в робототехнике, фрезерные и шлифовальные станки.

Следующий распространенный тип привода прямого действия – безжелезный линейный синхронный двигатель (рис. 4.6), который представляет собой блок катушек в магнитном поле симметрично расположенных магнитных дорог.

Основное отличие данной конструкции от симметричного пазового линейного синхронного двигателя – это отсутствие сердечников (магнитопроводов) внутри электромагнитного модуля. Это значительно снижает плотность магнитного поля в рабочем зазоре двигателя и позволяет развивать усилие до нескольких сотен ньютон. При этом пиковые усилия в силу отсутствия влияния насыщения сердечников могут достигать нескольких килоньютонов.

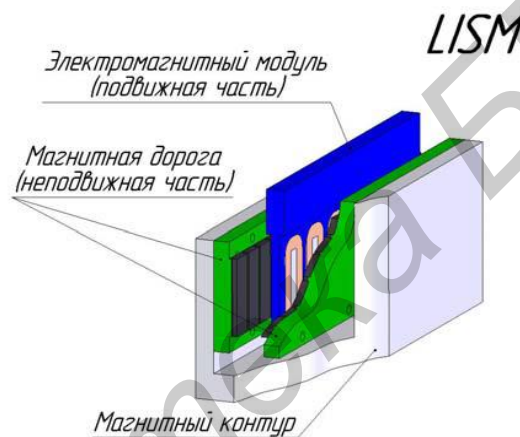


Рис. 4.6. Безжелезный линейный синхронный двигатель

Данный тип прямого привода при отсутствии сил магнитного притяжения имеет также относительно низкое значение индуктивности, что позволяет создавать прецизионные координатные системы с наилучшими показателями динамической точности. Основная область применения для данного двигателя – автоматизация процессов производства в электронной промышленности и точном приборостроении.

Известна еще одна реализация линейного синхронного двигателя (рис. 4.7), в котором электромагнитный блок выполнен в виде последовательности катушек, расположенных на общем магнитопроводе. Главная отличительная особенность такого двигателя от конструкции пазового линейного синхронного двигателя состоит в том, что внутри катушек магнитопровод отсутствует. В данной магнитной системе минимизировано усилие магнитного притяжения, но при этом существенно уменьшены и тяговые характеристики двигателя. Основная область применения – автоматизация технологических процессов в химической и медицинской промышленности, где необходимы точные перемещения без жестких требований к динамике рабочих циклов.

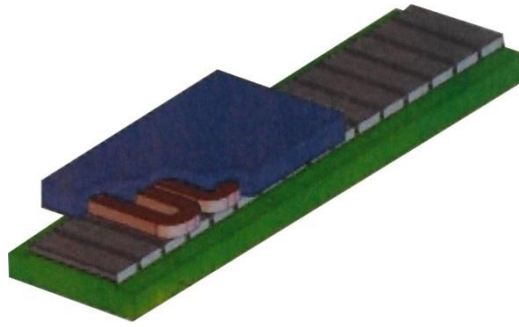


Рис. 4.7. Беспазовый линейный синхронный двигатель

В табл. 4.2 приведены сравнительные характеристики синхронных двигателей различной конструкции.

Таблица 4.2

Сравнительные характеристики синхронных двигателей различной конструкции

Показатель	Тип синхронного двигателя		
	железный пазовый	безжелезный беспазовый	железный беспазовый
Стоимость	низкая	высокая	минимальная
Сила притяжения	очень высокая	отсутствует	незначительная
Удельная тяга	наилучшая	удовлетворительная	хорошая
Теплоотвод	наилучший	плохой	хороший
Масса индуктора	наибольшая	наименьшая	средняя
Прочность индуктора	наилучшая	наихудшая	хорошая

На рис. 4.8 представлена схема перемещения трехфазного синхронного двигателя.

Для осуществления перемещения вправо необходимо выполнить цепи конъюнкций полярности полюсов ЭФМ, как показано ниже:

$$\begin{aligned}
 & \begin{matrix} (0) & & (1) \\ [S \ \& \ N]_U \ \& \ [0 \ \& \ 0]_V \ \& \ [0 \ \& \ 0]_W \rightarrow [N \ \& \ S]_U \ \& \ [N \ \& \ S]_V \ \& \ [N \ \& \ S]_W \rightarrow \end{matrix} \\
 & \begin{matrix} (2) & & (3) \\ [N \ \& \ S]_U \ \& \ [N \ \& \ S]_V \ \& \ [S \ \& \ N]_W \rightarrow [N \ \& \ S]_U \ \& \ [S \ \& \ N]_V \ \& \ [S \ \& \ N]_W \rightarrow \end{matrix} \\
 & \begin{matrix} (4) & & (5) \\ [S \ \& \ N]_U \ \& \ [S \ \& \ N]_V \ \& \ [S \ \& \ N]_W \rightarrow [S \ \& \ N]_U \ \& \ [S \ \& \ N]_V \ \& \ [N \ \& \ S]_W \rightarrow \end{matrix} \\
 & \begin{matrix} (6) & & (7) \\ [S \ \& \ N]_U \ \& \ [N \ \& \ S]_V \ \& \ [N \ \& \ S]_W \rightarrow [N \ \& \ S]_U \ \& \ [S \ \& \ N]_V \ \& \ [S \ \& \ N]_W \rightarrow \end{matrix} \\
 & \rightarrow \dots
 \end{aligned}$$

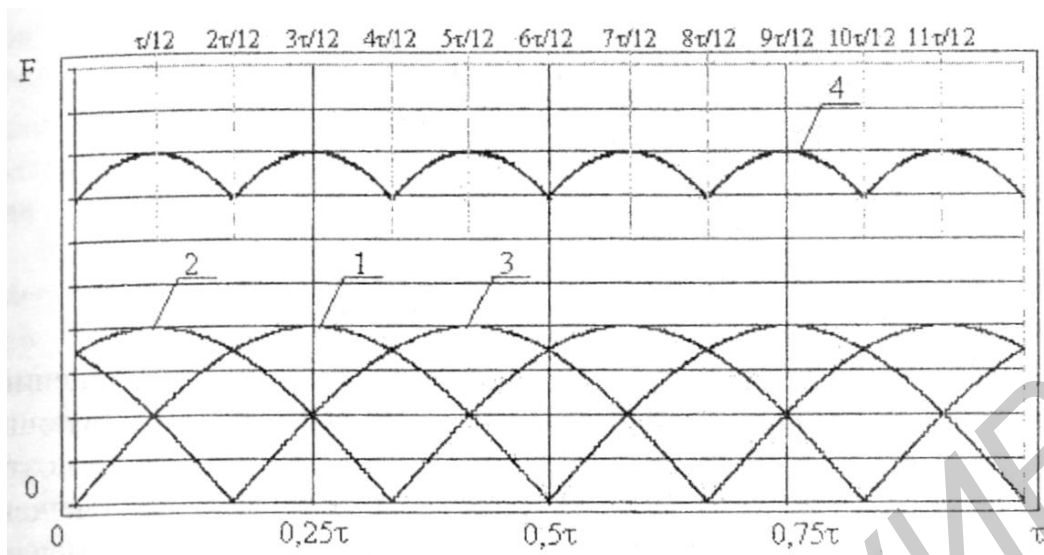


Рис. 4.10. Графики распределения сил, действующих на полюса ЭФМ:
 1, 2, 3 – годограф сил, действующих соответственно на полюса ЭФМ1, ЭФМ2, ЭФМ3;
 4 – годограф результирующей силы

Анализ графиков, приведенных на рис. 4.10, позволяет сделать вывод, что размер амплитуды колебания тягового усилия не превышает 12 %.

При управлении движением ЛСД возможны два способа управления скоростью на участках разгона и торможения – трапецеидальный и *S*-образный закон изменения скорости. Годографы скорости для обоих законов приведены на рис. 4.11.

Рассмотрим режим перемещения с трапецеидальным профилем скорости (рис. 4.11, *a*, *б*, *в*).

На участке $[0...t_a]$, который является участком разгона, функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), функция скорости пропорциональна t (линейный закон), ускорение постоянно (равно A_m) на всем участке разгона.

На участке $[t_a...t_v]$, который является участком перемещения на постоянной скорости, функция перемещения пропорциональна t (линейный закон), скорость постоянна (равна V_m), ускорение равно нулю.

На участке $[t_v...t_t]$, который является участком торможения, функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), функция скорости пропорциональна t (линейный закон), ускорение постоянно (равно минус A_m) на всем участке торможения.

Полное перемещение S_t выполняется за время t_t .

Следует отметить, что при $S_t \leq 2S_a$ (при том же значении A_m) трапецеидальный профиль скорости вырождается в треугольный ($t_a = t_v$). В этом случае максимально достижимая скорость V_m может быть меньше.

Рассмотрим режим перемещения с S -образным профилем скорости (рис. 4.11, z, δ, e).

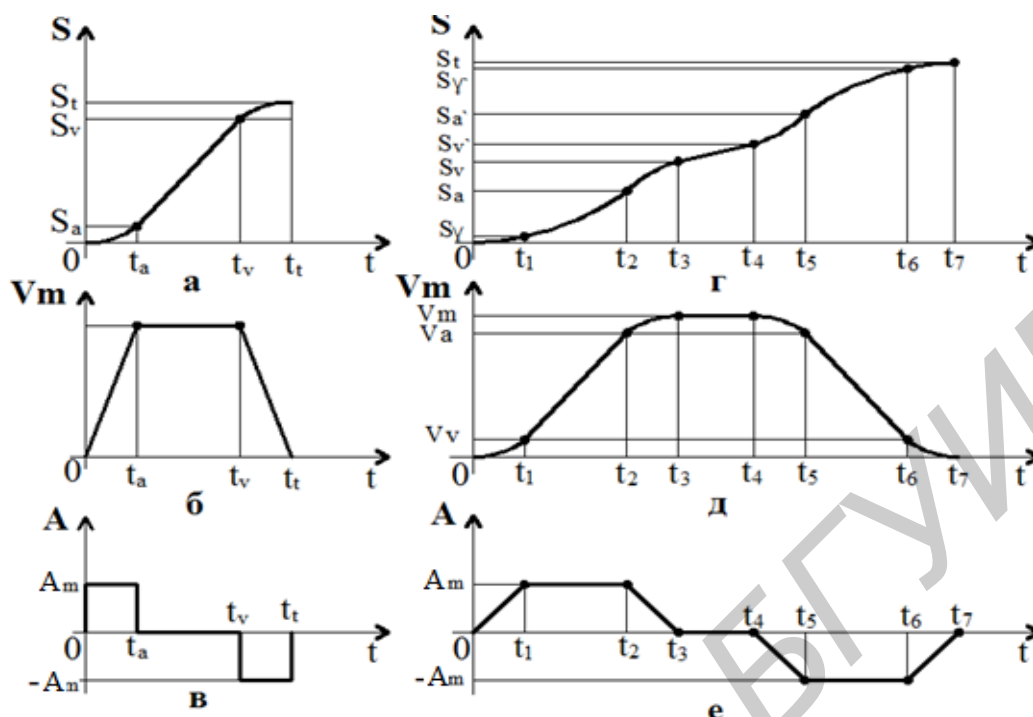


Рис. 4.11. Годограф зависимости перемещения (S), скорости (V) и ускорения (A) от времени для трапецеидального ($a, б, в$) и S -образного ($г, д, е$) профилей скоростей

На первом участке $[0 \dots t_1]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость растет пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение растет пропорционально t (линейный закон).

На втором участке $[t_1 \dots t_2]$ функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), скорость растет пропорционально t (линейный закон), ускорение постоянно (равно A_m) на всем участке.

На третьем участке $[t_2 \dots t_3]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость растет пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение уменьшается пропорционально t (линейный закон).

На четвертом участке $[t_3 \dots t_4]$ функция перемещения пропорциональна t (линейный закон), скорость постоянна (равна V_m), ускорение равно нулю.

На пятом участке $[t_4 \dots t_5]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость уменьшается пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение по абсолютной величине растет пропорционально t (линейный закон).

На шестом участке $[t_5 \dots t_6]$ функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), скорость уменьшается пропорционально t (линейный закон), ускорение постоянно (равно минус A_m) на всем участке.

На седьмом участке $[t_6 \dots t_7]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость уменьшается пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение уменьшается по абсолютной величине пропорционально t (линейный закон).

Полное перемещение S_t выполняется за время t_t . При этом участок $[0...t_3]$ является участком разгона, участок $[t_3...t_4]$ – участком перемещения с постоянной скоростью и участок $[t_4...t_7]$ – участком торможения.

Для измерения положений или перемещений применяются устройства, построенные на измерительных преобразователях в виде емкостного или оптического линейного датчика и специализированных микроконтроллерах в модульном исполнении.

В измерительной системе можно отметить три основных элемента: датчик, процессор, исполнительный элемент, с помощью которых решаются следующие задачи:

- *датчик* обнаруживает наличие и изменение входного сигнала (от объекта), соответственно формирует его и усиливает до стандартных величин. Затем посылает сигнал процессору в виде непрерывного сигнала (при аналоговом сигнале) или импульсного (при цифровом сигнале);

- *процессор* считывает информацию с сенсора, модифицирует и перерабатывает ее в соответствии с управляющей программой. В результате он посылает управляющие сигналы и данные в другие системы в форме стандартных цифровых сигналов – параллельных или последовательных;

- *исполнительный элемент* выполняет команды процессора. Исполнительный элемент может визуализировать информацию о состоянии объекта (устройства), запоминать данные, пересылать информацию в другие системы, сигнализировать о состоянии объекта и управлять им.

Датчики бывают *абсолютные (кодовые)* и *относительные (инкрементальные)*.

В относительных датчиках определенным изменениям положения головки соответствует точно установленное количество импульсов, сигнализирующее о перемещении головки относительно шкалы.

В абсолютных датчиках в таких направляющих линейках при каждом положении головки высылается информация о ее абсолютном положении.

Исходя из принципа действия, можно выделить четыре группы направляющих линеек:

- оптоэлектронные;
- магнитные;
- индуктивные;
- емкостные.

4.2. Порядок выполнения работы

4.2.1. Исследование динамических параметров линейного синхронного двигателя

1. Проверить соблюдение условий электробезопасности.
2. Подготовить пластины для нагрузки якоря, а также крепежные элементы к ним.

3. Подключить кабели питания управления макетом. Для этого необходимо:
 - включить кабель блока управления в сеть 380 В;
 - включить кабель блока управления в сеть 220 В;
 - включить кабель компьютера в сеть 220 В.
4. Включить питание 380 В в положение «Вкл».
5. Запустить компьютер.
6. Запустить блок управления двигателем тумблером «Сеть».
7. После загрузки компьютера необходимо запустить приложение «Drive» (рис. 4.12). Появится основное окно программы для управления двигателем.
8. Включить «Тумблер 1» блока управления, двигатель начнет дергаться и произойдет процесс нахождения коммутации.
9. Ждать прекращения движения двигателя.
10. Включить «Тумблер 2» блока управления, линейная ось начнет искать концевой выключатель, после нахождения привяжется к ближайшему началу периода на магнитной ленте и присвоит координате позиции значение нуль.
11. После этого «Тумблер 2» необходимо выключить.
12. В главном окне программы загружаем основную запрограммированную схему движения, для этого:
 - выбрать com 1;
 - нажать кнопку «Load Data from disk»;
 - загрузить файл «Motion Task», который находится на рабочем столе;
 - параметр «OPMODE» выставить «Position Motion Task».
13. В главном окне программы нажать кнопку «Oscilloscope». На экране появится второе окно программы для измерений динамических параметров двигателя (рис. 4.13).
14. Перед началом измерения необходимо убедиться в отсутствие груза на якоре двигателя.
15. Будем проводить измерение трех параметров (заданная скорость, реальная скорость, ошибка позиционирования) при различной нагрузке якоря.
16. Настраиваем контролируемые параметры в окне «Oscilloscope» (см. рис. 4.13), для этого:
 - в окне «Channel» (канал) красным ставим «v_act» (реальная скорость), зеленым – «V_CMD» (заданная скорость), синим – «FError» (ошибка позиционирования);
 - в окне «Service» выставляем параметр «Motion Task»;
 - параметр «Time/Division» делаем 1000 ms;
 - параметр «Resolution» выставляем «normal».

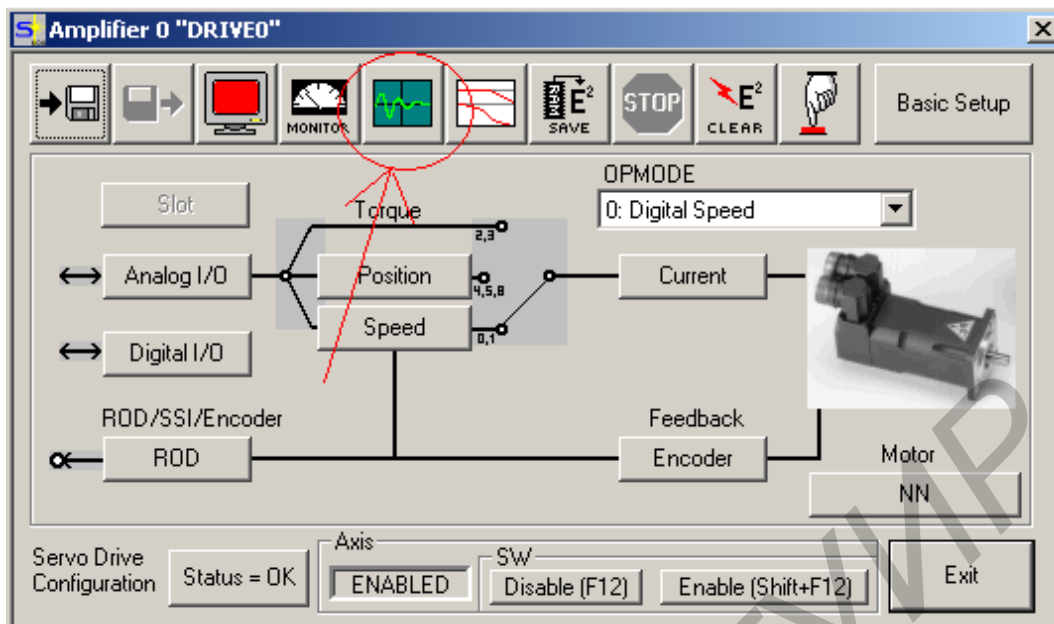


Рис. 4.12. Главное окно программы «Drive»

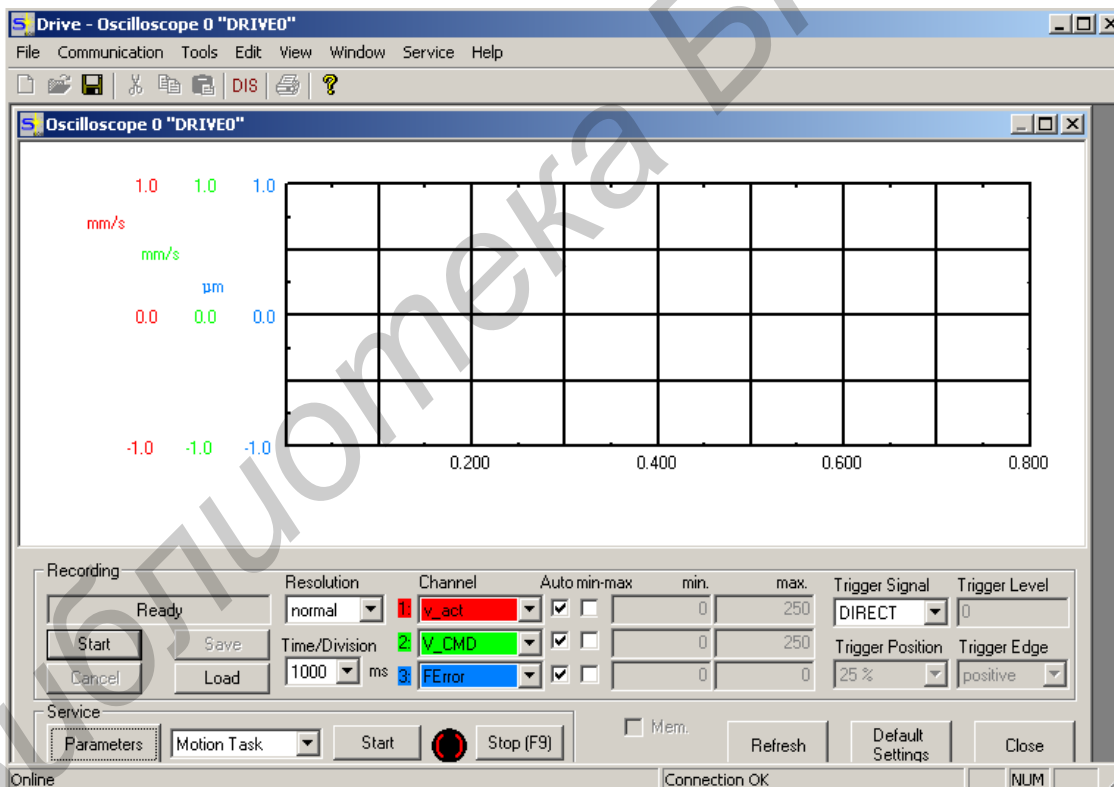


Рис. 4.13. Окно программы для измерения динамических параметров двигателя

17. Нажимаем кнопку «Start» в нижней части программы для начала движение двигателя по заданной программе, а затем, дождавшись выхода якоря в начальную позицию, вторую кнопку «Start» в левой части программы для начала записи выходных данных (рис. 4.14).

18. После вывода результатов измерения в виде графиков необходимо проанализировать данные и сохранить полученную информацию.

На графике красная линия отображает реальную скорость, зеленая – заданную скорость, синяя – ошибку позиционирования.

Для сохранения выполняем команду File/Save recording.

Необходимо отправить блок на начальную точку, для этого следует включить «Тумблер 2» блока управления, линейная ось начнет искать конечной выключатель, после нахождения привяжется к ближайшему началу периода на магнитной ленте и присвоит координате позиции значение нуль.

После этого «Тумблер 2» необходимо выключить.

19. Выключить двигатель клавишей F12.

20. Закрепить на якоре двигателя груз.

21. Включить двигатель комбинацией клавиш Shift + F12 (либо параметр SW поставить в значение Enable).

22. Повторить проведение пп. 17–20 с увеличенной нагрузкой на якорь двигателя. Необходимо проанализировать зависимость измеряемых параметров от нагрузки якоря.

23. Закрыть окно для измерения динамических параметров двигателя.

24. Снять груз с якоря двигателя.

25. Выключить двигатель (параметр SW поставить в значение Enable).



Рис. 4.14. Окно программы с выходными данными

4.2.2. Исследование профилей скоростей двигателя

1. В главном окне программы загружаем запрограммированную схему движения, для этого:

– нажать кнопку «Load Data from disk»;

- загрузить файл «Profil Trap», который находится на рабочем столе;
 - параметр «OPMODE» выставить «Position Motion Task».
2. В главном окне программы нажать кнопку «Oscilloscope».
 3. На экране появится окно программы (рис. 4.13).
 4. Нажимаем кнопку «Start» в нижней части программы для начала движение двигателя по заданной программе, а затем, дождавшись выхода якоря в начальную позицию, вторую кнопку «Start» в левой части программы для начала записи выходных данных.
 5. После вывода результатов измерения в виде графиков необходимо сохранить полученный профиль скорости.
 6. В главном окне параметр SW поставить в значение Disable.
 7. В главном окне программы загружаем запрограммированную схему движения, для этого:
 - нажать кнопку «Load Data from disk»;
 - загрузить файл «Profil S», который находится на рабочем столе;
 - в главном окне параметр SW поставить в значение Enable;
 - произвести калибровку (Тумблер 2);
 8. Повторить измерения (пп. 2–5).

4.2.3. Программирование движения линейного синхронного двигателя

1. Запустить главное окно программы (см. рис. 4.12).
2. Параметр «OPMODE» выставить «Position Motion Task».
3. В главном окне провести следующую последовательность действий:
 - нажать кнопку «Position»;
 - далее нажать кнопку «Position Data»;
 - дальше нажать кнопку «Motion Task Table» (рис. 4.15).

x	O_P	O_V	O_C	O_ACC1	O_DEC1	O_ACC2	O_DEC2	O_FN	O_FT	O_C2
1	5000	50	8200	500	500	500	500	2	0	
2	0	0	2184	0	0	0	0	3	2000	
3	50000	100	8203	500	500	500	500	4	0	
4	0	0	2184	0	0	0	0	5	1000	
5	90000	150	8201	500	500	500	500	6	0	
6	0	0	2184	0	0	0	0	7	1000	
7	140000	200	8201	500	500	500	500	8	0	
8	0	0	2184	0	0	0	0	1	1000	
9										
10	0	0	2184	0	0	0	0	11	8000	
11	1000	50	8200	500	500	500	500	1	0	
12	1	1	8203	500	500	500	500	10	0	
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

Рис. 4.15. Окно программирования после нажатия кнопки «Motion Task Table»

4. Необходимо очистить старый алгоритм. Для этого:
- навести указатель мыши на номер строки, которую необходимо очистить;
 - щелкнуть правой кнопкой мыши и выбрать «Erase».
5. Для программирования движения необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на первой строке (рис. 4.16).

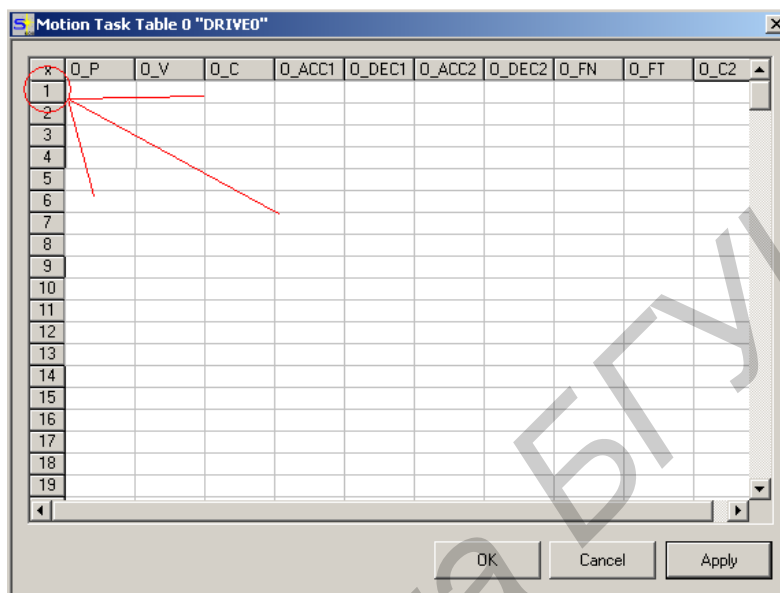


Рис. 4.16. Окно программирования движения двигателя

6. В появившемся окне необходимо задать параметры движения якоря двигателя. Для этого необходимо:

- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «motion»;
- параметр «Units» установить в значение «SI/User»;
- параметр «Type» в левой части экрана установить в значение «ABS»;
- параметр «X_CMD» (координата перемещения) задать равным 5000 мкм;
- параметр «v_cmd» (скорость перемещения) задать равным 50 мм/с;
- параметры «t_acc_total» и «t_dec_total» задать равными 500 мм/с²;
- параметр «Next Motion Task» выбрать «with» и установить «Next Number» со значением 2;
- нажать кнопку «Ok».

Далее программируем вторую строку:

- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «delay» (задержка);
- параметру «Next Number» установить значение 3;
- параметр «Delay Time» установить равным 3000 ms;
- нажать кнопку «Ok».

Программируем третью строку:

- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «motion»;
 - параметр «Units» установить в значение «SI/User»;
 - параметр «Type» в левой части экрана установить в значение «REL CMD»;
 - параметр «X_CMD» (координата перемещения) задать равным 50000 мкм;
 - параметр «v_cmd» (скорость перемещения) задать равным 100 мм/с;
 - параметры «t_acc_total» и «t_dec_total» задать равными 500 мм/с²;
 - параметр «Next Motion Task» выбрать «with» и установить «Next Number» со значением 4;
 - нажать кнопку «Ok».
- Программируем четвертую строку:
- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «delay» (задержка);
 - параметру «Next Number» установить значение 5;
 - параметр «Delay Time» установить равным 1000 ms;
 - нажать кнопку «Ok».
- Программируем пятую строку:
- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «motion»;
 - параметр «Units» установить в значение «SI/User»;
 - параметр «Type» в левой части экрана установить в значение «REL CMD»;
 - параметр «X_CMD» (координата перемещения) задать равным 90000 мкм;
 - параметр «v_cmd» (скорость перемещения) задать равным 150 мм/с;
 - параметры «t_acc_total» и «t_dec_total» задать равными 500 мм/с²;
 - параметр «Next Motion Task» выбрать «with» и установить «Next Number» со значением 6;
 - нажать кнопку «Ok».
- Программируем шестую строку:
- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «delay» (задержка);
 - параметру «Next Number» установить значение 7;
 - параметр «Delay Time» установить равным 1000 ms;
 - нажать кнопку «Ok».
- Программируем седьмую строку:
- параметр «Type» в верхней части экрана, установить в значение «motion»;
 - параметр «Units» установить в значение «SI/User»;
 - параметр «Type» в левой части экрана установить в значение «REL CMD»;
 - параметр «X_CMD» (координата перемещения) задать равным 140000 мкм;

- параметр «v_cmd» (скорость перемещения) задать равным 200 мм/с;
- параметры «t_acc_total» и «t_dec_total» задать равными 500 мм/с²;
- параметр «Next Motion Task» выбрать «with» и установить «Next Number» со значением 8;

– нажать кнопку «Ok».

Программируем восьмую строку:

- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «delay» (задержка);

– параметру «Next Number» установить значение 9;

– параметр «Delay Time» установить равным 1000 ms;

– нажать кнопку «Ok».

Программируем девятую строку:

- параметр «Type» в верхней части экрана установить в значение «motion»;

– параметр «Units» установить в значение «SI/User»;

– параметр «Type» в левой части экрана установить в значение «ABS»;

– параметр «X_CMD» (координата перемещения) задать равным 0 мкм;

– параметр «v_cmd» (скорость перемещения) задать равным 50 мм/с;

– параметры «t_acc_total» и «t_dec_total» задать равными 500 мм/с²;

- параметр «Next Motion Task» выбрать «with» и установить «Next Number» со значением 1;

– нажать кнопку «Ok».

Таким образом, двигатель будет двигаться в прямом направлении с тремя остановками, с разной скоростью (100, 150, 200 мм/с) и в конце вернется в свою начальную точку.

Построить график запрограммированного движения, сделать анализ полученных данных.

7. Для завершения работы с учебно-лабораторным макетом необходимо:

– закрыть программу «Drive»;

– перевести все тумблеры блока управления в положение «выкл»;

– выключить питание блока управления тумблером «Сеть»;

– выключить ПЭВМ;

– выключить питание 380 В, переведя тумблеры в положение «выкл»;

– отсоединить кабель блока управления от сети 380 В;

– отсоединить кабель блока управления от сети 220 В;

– отсоединить кабель компьютера от сети 220 В.

4.3. Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. График зависимости ошибки перемещения от скорости.
3. Графики профилей скоростей.
4. График запрограммированного движения.
5. Анализ полученных данных.

4.4. Контрольные вопросы

1. Конструкция ЛСД.
2. Виды датчиков измерения перемещений.
3. Принцип организации линейного перемещения.
4. Основные виды профилей скоростей ЛСД.

Библиотека БГУИР

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ №1 И 2**

Твердость меди – 45 НВ.

Твердость алюминия – 15 НВ.

Таблица П.1.1

Твердости конструкционных сталей (ГОСТ 1050–88)

Марка стали	Твердость по Бринеллю, не более			
	для горячекатаного и кованого проката		для калиброванного проката и со специальной отделкой поверхности	
	без термической обработки	после отжига или высокого отпуска	нагартованного	отожженного или высокоотпущенного
08	131	–	179	131
10	143	–	187	143
15	149	–	197	149
20	163	–	207	163
25	170	–	217	170
30	179	–	229	179
35	207	–	229	187
40	217	187	241	197
45	229	197	241	207
50	241	207	255	217
55	255	217	269	229
58 (55пп)	255	217	–	–
60	255	229	269	229

Таблица П.1.2

Твердости бронз (ГОСТ 1628–78)

Марка бронзы	Вид сплава	Твердость по Бринеллю
1	2	3
БрА5	Сплав отожженный	55–65
	После закалки и старения	190–210
БрА7	Сплав отожженный	65–75
	После закалки и старения	200–220
БрАМц9–2	Сплав отожженный	110–130
	После закалки и старения	160–180

Окончание табл. П.1.2

1	2	3
БрАЖ9-4	Сплав отожженный	100-120
	После закалки и старения	160-200
БрАЖМц10-3-1,5	Сплав отожженный	125-140
	После закалки и старения	160-200
БрАЖН10-4-4	Сплав отожженный	130-150
	После закалки и старения	180-220
БрБ2	Сплав отожженный	130-150
	После закалки и старения	350
БрБНТ1,9	Сплав отожженный	120-140
	После закалки и старения	340
БрБНТ 1,7	Сплав отожженный	80-120
	После закалки и старения	150-240
БрМц5	Сплав отожженный	70-90
	После закалки и старения	150-170
БрКМц3-1	Сплав отожженный	70-90
	После закалки и старения	150-170
БрКН 1-3	Сплав отожженный	80-100
	После закалки и старения	150-200
БрКд 1	Сплав отожженный	50-70
	После закалки и старения	95-115
БрХ0,7	Сплав отожженный	50-70
	После закалки и старения	130-140

Таблица П.1.3

Твердости латуней

Марка латуни	Состояние материала	Твердость по Бринеллю	Марка латуни	Состояние материала	Твердость по Бринеллю
1	2	3	4	5	6
Л90	Мягкий	60	Л63	Мягкий	70
	Полутвердый	81		Полутвердый	105
	Твердый	110		Твердый	135
Л85	Мягкий	65		Особотвердый	160
	Полутвердый	95		Пружинно-твердый	180
	Твердый	110			

Окончание табл. П.1.3

1	2	3	4	5	6
Л80	Мягкий	65	ЛС59-1	Мягкий	100
	Полутвердый	95		Твердый	200
	Твердый	120		Мягкий	85
Л68	Мягкий	70	ЛМц58-2	Полутвердый	100
	Полутвердый	105		Твердый	120
	Твердый	125		Твердый	145
	Особотвердый	155	Л062-1		

Таблица П.1.4

Твердости алюминиевых сплавов

Марка сплава	Твердость по Бринеллю	Марка сплава	Состояние материала	Твердость по Бринеллю
АД33	80	Д1	Сплав отожженный	45
			После закалки и старения	65
АК6	100			
АМг3	45	Д16	Сплав отожженный	42
			После закалки и старения	105
Амг5	65	Д18	Сплав отожженный	38
			После закалки и старения	70

Комплект оборудования Е8-С151

Комплект оборудования состоит из маркировочной машины SIC C151 (рис. П.1.1) и контроллера SICe8 (рис. П.1.2).



Рис. П.1.1. Маркировочная машина

Технические характеристики маркировочной машины:

- размер маркировочного окна 160×100 мм;
- максимальная скорость маркировки 5 сим/с;
- максимальная высота изделия, подлежащего маркировке, 250 мм;
- глубина маркировки до 0,5 мм по стали;
- возможность нанесения информации на материалах твердостью до 62 HRC.

Таблица П.1.5

Соотношение параметра Depth и энергии удара

Depth	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Энергия удара (кДж)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7



Рис. П.1.2. Контроллер

Технические характеристики контроллера:

- пыле-влагозащищенный корпус; стандарт IP 51;
- четыре предустановленных шрифта;
- порты: USB, RS422, RS232, RS 485 (J-Bus, Profi Bus) (опция);
- возможность подключения к промышленным сетям предприятий посредством Ethernet (TCP/IP);
- возможность подключения дополнительных устройств: сканера 2D или штрих-кода для ввода или верификации наносимой информации;
- функции предварительного просмотра маркировки, интерфейс близок к компьютерному;
- встроенная герметичная клавиатура (возможно подключение стандартной клавиатуры);
- большой графический дисплей;
- внутренняя память на 1000 маркировочных файлов, 50 логотипов;
- возможность управления через ПК при помощи поставляемых в комплекте программ;

- работа с дискретными сигналами I/O, протокол обмена данными;
- управление всеми параметрами маркировки: размер символа, глубина и плотность нанесения точек, скорость маркировки, зеркальное отображение, маркировка под заданным углом наклона и диаметру деталей;
- маркировка 2D-кодов (data matrix ECC200);
- сериализация (автоматическое приращение: цифровое, буквенное, цифробуквенное, по сменам, дате и т. д.);
- возможность ограничения доступа к корректировке наносимой информации через систему паролей;
- размеры: 413×302×113 мм;
- вес контроллера: 5,4 кг;
- потребляемая мощность 300 Вт при электрических параметрах сети 80–260 В, 50–60 Гц.

Расположение разъемов и клавиш представлено на рис. П.1.3.

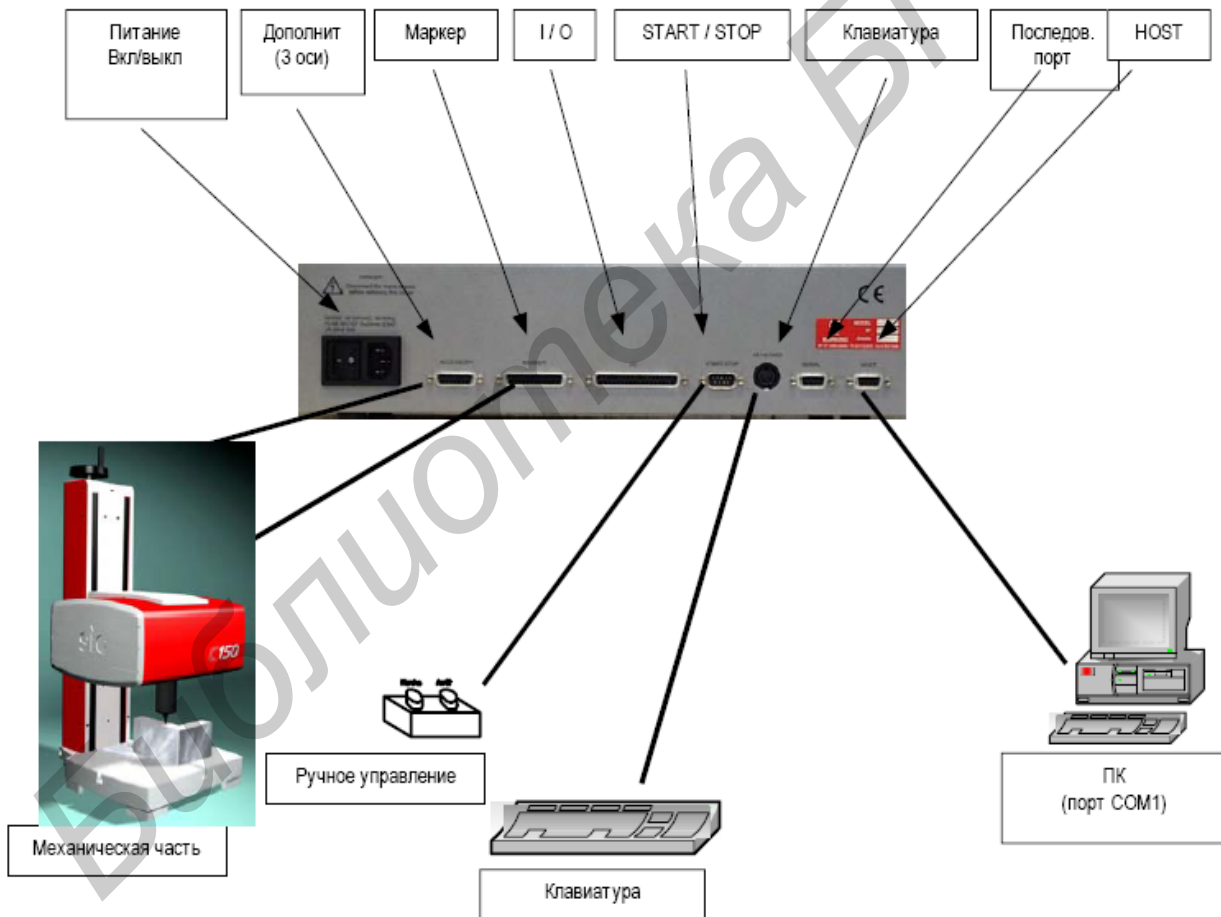


Рис. П.1.3. Вид задней крышки контроллера

Таблица технологических параметров маркировочной машины

Глубина	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Минимальное расстояние	0,5	0,5	0,5	1	1	2	3	5	6
Максимальное расстояние	1	2	3	5	6	7	9	9	9

Порядок проведения измерений при использовании микроскопа ИМЦЛ 100×50А

1. Включить тумблер на задней крышке источника питания микрометра (рис. П.1.4).

2. Разместить деталь в центре предметного столика 1 (рис. П.1.5).

3. При помощи рукояток 2 и 7 разместить столик так, чтобы измеряемая деталь была видна через окуляр 4.

4. Вращением колесика 3 сфокусировать изображение.

5. Рассмотреть перекрывающиеся линии объектива (линии метки) 6, наблюдаемые в окуляр, при необходимости вращать диск 5 для их удобной ориентации (рис. П.1.6).

6. Разместить деталь и линии так, чтобы одна из линий пересекала измеряемый элемент в первой точке. Записать начальное значение, которое появится на микрометре по оси X (рис. П.1.7).

7. При помощи рукоятки переместить столик так, чтобы выбранная линия пересекала измеряемый элемент во второй точке. Записать второе значение, которое появится на микрометре по оси X (значения указаны в мкм).

8. Записанные значения вычесть. Их разность и является измеряемой величиной.

9. Провести измерения пять раз.

10. Деталь снять со столика.

11. Выключить микрометр.



Рис. П.1.4. Задняя крышка источника питания микрометра

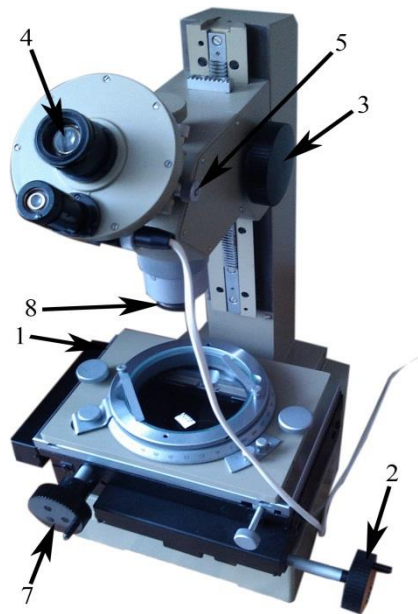


Рис. П.1.5. Микроскоп ИМЦЛ 100×50А

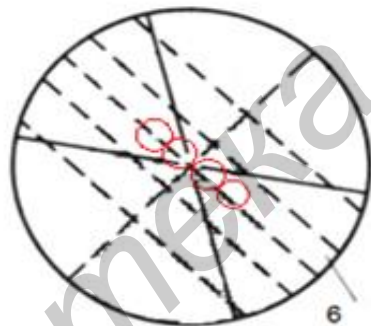


Рис. П.1.6. Изображение, наблюдаемое в окуляре



Рис. П.1.7. Микрометр ИМЦЛ 100×50А

Порядок проведения процесса маркировки:

1. Получить у инженера заготовку и установить ее в технологическую оснастку крепления.
2. Включить установку в сеть электропитания. Включить контроллер переключателем на его задней стороне.
3. Включить компьютер.
4. Запустить приложение «WINSIC 2».
5. Загрузить файл «Точность». Для этого нажать клавишу F3, выбрать файл «Точность» и нажать клавишу Ent.
6. Закрепить обрабатываемый материал.
7. Установить маркировочную головку в начальную точку обработки. Для этого:
 - 7.1. Войти в режим редактирования (клавиша F5).
 - 7.2. Установить расстояние между иглой и заготовкой 15–20 мм с помощью ручки на стойке.
 - 7.3. Войти в функцию настройки, для этого нажать клавишу F8.
 - 7.4. Переместить маркировочную головку в начальную точку маркировки, используя клавиши ←↑→↓ для перемещения головки на один шаг в нужном направлении.
 - 7.5. Установить расстояние между иглой и заготовкой 4 мм с помощью ручки на стойке.
 - 7.6. Произвести очерчивание контура строки (клавиша F6). Визуально контролировать положение контура на заготовке.
8. Произвести очерчивание контура, для этого нажать кнопку «Контур». Маркировочная головка очерчивает контур надписи. Во время очерчивания визуально убедиться, что вся надпись попадает в поле заготовки, перейти в режим редактирования, для этого нажать кнопку «ОК».
9. Войти в режим маркировки. Для этого нажать кнопку «НАЗАД» (зеленая стрелка). Произвести маркировку, для этого выбрать функцию «МАРКИР.», в появившемся меню нажать «СТАРТ МАРКИРОВКИ».

Порядок работы с программой определения уровня точности и настроенности ТП

Внешний вид программы для расчета точности и настроенности ТП представлен на рис. П.1.8.

1. Ввести измеренные значения в массив, предварительно очистив его кнопкой «Очистить массив».
2. Ввести значения в следующие графы:
 - «Значение половины поля допуска на изучаемый параметр изделия по техническим условиям»: 0,1;
 - «Значение номинала изучаемого параметра изделия по техническим условиям»: 2;
 - «Единица измерения исследуемого параметра»: мм.

3. Рассчитать параметры точности и настроенности, используя кнопку «Рассчитать».

4. С помощью кнопки «Гистограмма» вывести на экран гистограмму распределения измеренного параметра.

5. Произвести печать гистограммы, используя кнопку «Печатать данные».

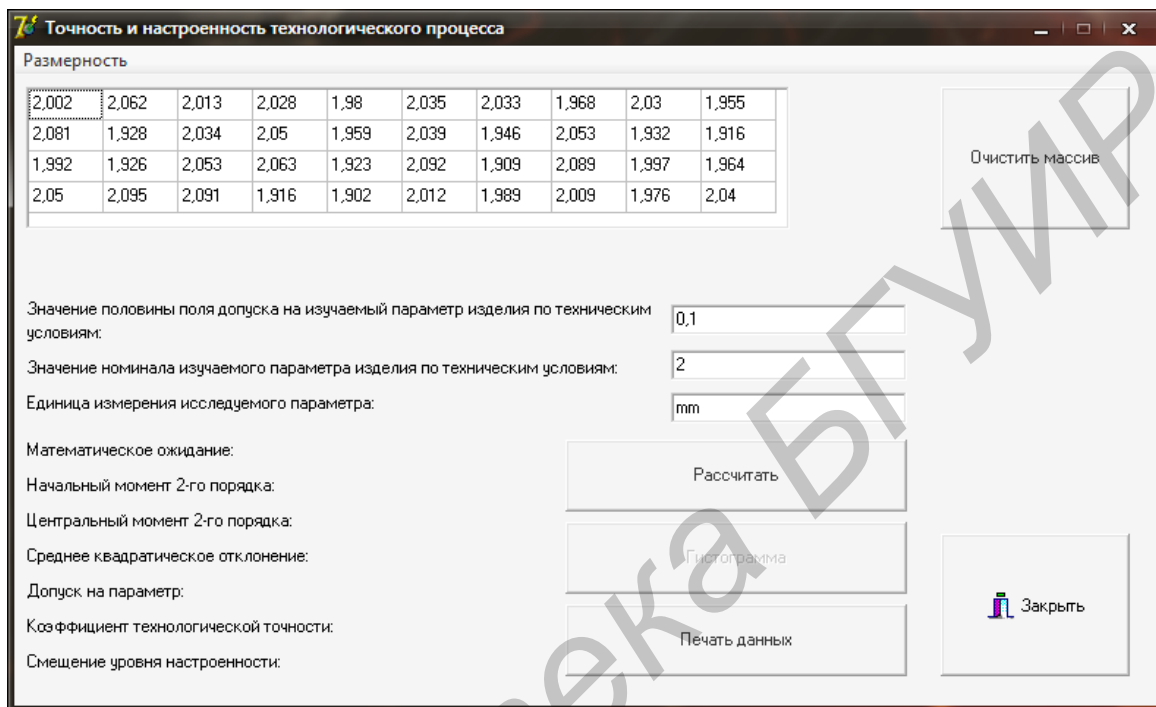


Рис. П.1.8. Окно программы для расчета точности и настроенности ТП

**СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №3**

Установка присоединения выводов ЭМ-4320 (рис. П.2.1) предназначена для присоединения выводов широкой гаммы изделий электронной техники (например, на производстве открытого акционерного общества «Планар»).



Рис. П.2.1. Внешний вид установки ЭМ-4320-1

Установка может быть выполнена в следующих модификациях:

- установка ЭМ-4320-1 – для присоединения выводов золотой проволокой методом термозвуковой сварки, способом «шарик–клин»;
- установка ЭМ-4320-2 – для присоединения выводов из алюминия и золота методами ультразвуковой/термозвуковой сварки, способом «клин–клин»;
- установка ЭМ-4320-3 – для присоединения выводов из алюминиевой проволоки увеличенного сечения диаметром от 80 до 500 мкм методом ультразвуковой сварки способом «клин–клин»;
- установка ЭМ-4320-4 – для присоединения выводов из золота (меди, платины, палладия и др.) методом контактной сварки.

Технические характеристики установок серии ЭМ-4320

Наименование характеристики	ЭМ-4320-1	ЭМ-4320-2	ЭМ-4320-3	ЭМ-4320-4
1	2	3	4	5
Метод сварки	Термозвук	Ультразвук/термозвук	Ультразвук	Контактная сварка
Материал присоединяемых выводов	Au	Al/Au	Al	Au/Cu, Pt, Pa
Размер рабочей поверхности стола, мм	65×65	65×65	65×65*	65×65*
Размеры присоединяемых круглых проводников, мм	0,017–0,075 (0,025–0,080)	Au: 0,017–0,075; Al: 0,020–0,080	0,08–0,50	0,025–0,100
Размеры присоединяемых плоских проводников, мм	–	0,02–0,03 × 0,1–0,2	–	0,02–0,03 × 0,1–0,2
Формообразование переключки	Автоматическое	Автоматическое	Автоматическое	Автоматическое
Способ сварки	Встык–внахлест	Внахлест	Внахлест	Внахлест
Усилие сжатия соединяемых элементов, Н	0,1–1,5	0,1–1,5	0,8–10	0,15–2,0/2,0–10
Длительность рабочего цикла, с	0,8	0,8	1,0	0,8
Рабочее поле совмещения (диаметр), мм: – грубое (вручную); – точное (манипулятором)	85 15	85 15	85 15	85 15
Температура нагрева прибора, °С	До 300	До 300	–	До 300/–
Разновысотность точек сварки, мм **	До 6	До 6	До 6	До 6

1	2	3	4	5
Количество стежков в перемычке	–***	До 10	До 10	До 10
Выходная мощность блока формирования сварочного импульса/рабочая частота, Вт/кГц	До 4/110	До 4/110	До 40/66	–
Длительность сварного импульса, с	0,010–0,250	0,010–0,250	0,010–0,999	0,010–0,999
Угол подачи проволоки: – основной; – дополнительный	30° –	30° 80°	90° 45°	30° –
Глубина проникновения инструмента, мм	6	14 (80°)	6 (45°)	31
Электропитание и потребляемая мощность	230 В; 50 Гц; 0,3 кВт	230 В; 50 Гц; 0,3 кВт	230 В; 50 Гц; 0,3 кВт	230 В; 50 Гц; 0,4 кВт
Габариты (мм), масса (кг)	750×750×600, 37	750×750×600, 35	750×750×600, 42	750×750×600, 42

Примечания:

* Возможна поставка установки со столом с размером рабочей поверхности до 150 мм и со столом, имеющем механизированную подачу изделий в спутнике.

** Возможна ручная регулировка уровня сварки до 10 мм.

*** Возможно укрепление сварки внахлест приваркой «шарика».

Список литературы

1. Справочник металлиста : справочник. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Рахштада и В. А. Брострема. – М. : Машиностроение, 1976.
2. Марочник сталей и сплавов : справочник / под ред. М. М. Шишкова. – Донецк : Юго-Восток, 2002.
3. Лабораторные работы по курсам «Технология обработки материалов», «Технология деталей РЭС». В 2 ч. Ч.1 / Г. М. Шахлевич [и др.]. – Минск : БГУИР, 2006.
4. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988.
5. Вереина, Л. И. Справочник токаря / Л. И. Вереина. – М : Академия, 2002.
6. Ефимов, И. Е. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. – М. : Высш. шк., 1986.
7. Яшнин, А. А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА / А. А. Яшнин. – М. : Радио и связь, 1983.
8. Онегин, Е. Е. Автоматическая сборка ИС / Е. Е. Онегин, В. А. Зенькович, Л. Г. Битно. – Минск : Выш. шк., 1990.
9. Шмаков, М. Микросварка при производстве микросборок и гибридных интегральных микросхем / М. Шмаков // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – №15.
10. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / под ред. Ю. М. Барона. – СПб. : Питер, 2012.
11. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие для ссузов / под ред. О. С. Комарова. – Минск : Дизайн ПРО, 2002.
12. Кенько, В. М. Технология автоматизированного производства : учебник для вузов / В. М. Кенько, А. А. Жолобов. – Минск : Дизайн ПРО, 2000.
13. Арзамасов, В. Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник / В. Б. Арзамасов, А. А. Черепяхин. – М. : Академия, 2007.
14. Технологическая оснастка : учеб. пособие / В. Е. Антонюк [и др.]. – Минск : Издательство Гревцова, 2011.
15. Холодкова, А. Г. Технологическая оснастка : учеб. пособие / А. Г. Холодкова. – М. : Издательский центр «Академия», 2008.
16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / А. Г. Косилова [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001.

Учебное издание

Бордусов Сергей Валентинович
Достанко Анатолий Павлович
Мадвейко Сергей Игоревич и др.

**ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Чайковская*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка и оригинал-макет *А. А. Лущикова*

Подписано в печать 15.01.2015. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,77. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 100 экз. Заказ 169.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6