**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Владимирский государственный университет**

**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**

**(ВлГУ)**

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра «Биомедицинские и электронные средства и технологии» (БЭСТ)

Марычев С.Н.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ**

Методические указания

к выполнению расчетно-графической работы

«Расчет параметров технологического оборудования для получения заготовок печатных плат»

по дисциплине «Технология производства медицинской техники» для студентов ВлГУ,

обучающихся по направлению 12.03.04 – "Биотехнические системы и технологии"

Владимир 2017

1. **Расчет параметров технологического оборудования для получения**

**заготовок печатных плат**

К заготовительным операциям техпроцесса изготовления печатных плат (ПП) относятся:

* раскрой материала;
* получение заготовок ПП;
* получение фиксирующих (базовых) и технологических отверстий.

Заготовка ПП — материал основания ПП определенного размера, который подвергается обработке на всех производственных операциях.

Заготовка ПП должна иметь технологическое поле, на котором располагаются фиксирующие, технологические отверстия, тест-купоны и пр. (рис.1).

Фиксирующие (базовые) отверстия необходимы для точного расположения (базирования) заготовки в процессе ее обработки на операциях высокой точности, таких как сверление монтажных и переходных отверстий, получение защитного рельефа схемы, совмещение слоев МПП и пр. Это отверстия высокой точности.

Точность диаметра фиксирующих отверстий составляет: для ПП 1- и 2-го классов точности — Н12; для 3- и 4-го — Н9, для 5-го — (±0,01) мм.



**Рис. 1** Заготовка ПП: I — ПП; 2 — технологические отверстия, 4 шт; 3 — технологическое поле; 4 — тест-купон; 5 — фиксирующие (базовые) отверстия

Предельные отклонения межцентрового расстояния для ПП:

для 1- и 2-го классов точности — (±0,05) мм;

для 3-го класса точности — (±0,03) мм;

для 4-го класса точности (±0,02) мм;

для 5-го класса точности — (±0,01) мм.

Технологические отверстия — отверстия, используемые для механического закрепления заготовок на подвесках при гальваническом, химическом меднении (рис.2)



**Рис.2.** Подвеска для химического меднения с закрепленными по технологическим отверстиям ПП: 1-подвеска; 2- заготовка ПП

Тест-купон — часть заготовки ПП, служащая для оценки качества изготовления ПП методами разрушающего и неразрушающего контроля, прошедшая с ней все технологические операции и отделяемая перед испытаниями.

В конце ТП изготовления ПП технологическое поле удаляется фрезерованием, вырубкой или лазерной резкой.

Размеры единичных заготовок ПП определяют по следующей формуле (рис. 3):

А3 = АП + 2Ш, (1)

где А3 — длина или ширина заготовки, мм;

АП — длина или ширина ПП, мм;

Ш — ширина технологического поля, мм; Ш≤ 10 мм для ОПП и ДПП, Ш≤30 мм для МПП.

В групповых заготовках ПП ширина технологического поля по периферии составляет 30 мм, а между заготовками — 10 мм (рис. 4).



**Рис 3.** Размеры единичных заготовок



**Рис.4.** Размеры групповых заготовок ПП

Изготовление ПП на единичных заготовках приводит к нерациональному использованию материала (большой отход за счет технологического поля) и к увеличению трудоемкости производства, поэтому наиболее целесообразно применять групповые заготовки. Размер ,заготовок ПП определяется типом применяемого оборудования: габаритными размерами ванн химического и гальванического меднения, рабочего поля сверлильно-фрезерных станков, шириной рулонов сухого пленочного фоторезиста и пр.

Для получения заготовок ПП применяют штамповку (крупносерийное и массовое производство) или резку (серийное, мелкосерийное и опытное производство).

Единичные заготовки получают в два этапа. На первом этапе производится разрезка листа диэлектрика на полосы на роликовых, гильотинных ножницах или на дисковой пиле (рис. 5,6).

На втором этапе из полосы диэлектрика заготовки ПП 1- и 2-го классов точности получают одним из двух способов:

* резкой на роликовых, гильотинных ножницах, дисковой пиле с последующей пробивкой на штампах фиксирующих (базовых) и технологических отверстий, т. е. выполняется две последовательные операции;
* штамповкой из полосы с одновременной пробивкой фиксирующих и технологических отверстий за одну операцию.



 **Рис. 5.** Резка листа материала на полосы: А — ширина полосы



**Рис. 6.** Способы резки листа на полосы и полосы на заготовки: а — на гильотинных ножницах; б — на роликовых ножницах; в — дисковыми фрезами; г — штамповкой

На втором этапе из полосы диэлектрика заготовки ПГТ 3-, 4- и 5-го классов точности получают:

* на первой операции — резкой полосы на заготовки на роликовых, гильотинных ножницах, дисковой пиле или штамповкой;
* на второй — сверлением фиксирующих и технологических отверстий.

Фиксирующие (базовые) и технологические отверстия находятся на

технологическом поле ПГТ (см. рис. 1) и могут быть получены:

* пробивкой одновременно при вырубке заготовки ПП из полосы (применяется для ПП 1- и 2-го классов точности);
* пробивкой в заготовке ПП, полученных резкой (для ПП 1- и 2-го классов точности);
* сверлением заготовок, полученных резкой или штамповкой, по кондуктору на настольных станках (для ПП 3-, 4- и 5-го классов точности).

Из-за низкой степени штампуемости слоистых пластиков операцию штамповки целесообразно применять в крупносерийном и массовом производстве при пробивке монтажных и переходных отверстий, если в дальнейшем отверстия не подвергаются металлизации. В остальных случаях целесообразно применять сверление.

* 1. Получение заготовок на роликовых ножницах
1. Контроль фольгированного диэлектрика на соответствие ГОСТ или техническим условиям (ТУ);
* Разрезка листа фольгированного диэлектрика на полосы. Скорость резания V= 2...10 м/мин.
* взять лист и подать к роликам;
* отрезать полосу;
* проверить размер полосы;
* отбросить отход
1. Нарезка полосы на отдельные заготовки. Скорость резания V= 2...10 м/мин.
2. Контрольная операция. Проверка размера заготовок.
	1. Получение заготовок ПП на дисковой пиле

Последовательность операций получения заготовок ПП на дисковой пиле та же, что и при использовании роликовых ножниц.

* взять лист материала и установить по упору
* отрезать базовую сторону листа.

**1.3. Получение заготовок ПП на гильотинных ножницах**

Последовательность операций и переходов получения заготовок ПП на гильотинных ножницах та же, что и при использовании роликовых ножниц

* взять лист и установить по упору;
* включить ножницы;
* отрезать базовую сторону;
* продвинуть лист до упора;
* отрезать полосу;
* продвинуть лист до упора;
* отложить отход;
* проверить размер полосы.
	1. Получение заготовок ПП штамповкой с пробивкой базовых и технологических отверстий

Получение заготовок ПП вырубкой из полосы по контуру с одновременной пробивкой базовых и технологических отверстий применяют для ПП 1- и 2-го класса.

Трудоемкость получения заготовок ПП методом штамповки содновременной пробивкой базовых и технологических отверстий оценивают в соответствии с оперативным временем следующих операций и переходов.

 1.Контроль фольгированного диэлектрика на соответствие ГОСТу или ТУ.

2.Вырубка заготовки ПП из полосы с одновременной пробивкой базовых и технологических отверстий.

3.Слесарная операция. Снять заусенцы по периметру ПП и в отверстиях на станке для снятия фасок.

4.Контрольная операция. Проверка размера заготовок.

 При штамповке заготовок, изготовленных из стеклотекстолита толщиной 2 мм и более или гетинакса толщиной 1,5 мм и более для улучшения качества обрабатываемой поверхности, для исключения сколов и трещин производят предварительный нагрев заготовок до 80... 100 °С со скоростью 5...8 мин на 1 мм толщины материала в термостатах, установках ИК нагрева и др. Методики расчета штампа при штамповке с подогревом и без подогрева различны.

При штамповке в результате пружинящих свойств слоистых пластиков наружные размеры заготовок и ПП получаются большими, чем размеры матриц, а внутренние меньше, чем размеры пуансона, что необходимо учесть при расчете исполнительных размеров пуансона и матрицы штампа, чтобы получить заданный размер заготовки или ПП.

* 1. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы при вырубке без подогрева

При вырубке наружного контура заготовки или ПП определяют исполнительные размеры матрицы, а размеры пуансона выбирают с учетом величины двухстороннего зазора Z, (табл. 1 — для стеклотекстолита; табл. 2 — для гетинакса) [51]. При толщине заготовки или ПП менее 2 мм (для стеклотекстолита) или 1,5 мм (для гетинакса) вырубку по контуру проводят без подогрева.

Таблица 1 **Величина между пуансоном и матрицей при вырубке и пробивке отверстий ПП из стеклотекстолита двухстороннего зазора**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Толщина материала, мм | Двусторонний зазор в отверстиях , мм | Двусторонний зазор по наружному контуру плат ,мм |
| Мини-мальный | Максимальный для 0 , мм | Мини-мальный | Максимальный для размеров плат, мм |
| до 10 | до 50 | до 10 | до 50 | до 100 | до 150 | до 200 | до 260 |
| 0,5 | 0,020 | 0,025 | 0,030 | 0,015 | 0,020 | 0,025 | 0,030 | 0,035 | 0,04 | 0,045 |
| 1,0 | 0,030 | 0,035 | 0,040 | 0,025 | 0,030 | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,05 | 0,055 |
| 1,5 | 0,045 | 0,050 | 0,055 | 0,040 | 0,045 | 0,050 | 0,055 | 0,060 | 0,09 | 0,095 |
| 2,0 | 0,055 | 0,060 | 0,065 | 0,050 | 0,055 | 0,060 | 0,065 | 0,070 | 0,12 | 0,125 |
| 3,0 | 0,080 | 0,085 | 0,190 | 0,070 | 0,080 | 0,090 | 0,100 | 0,150 | 0,20 | 0,25 |

Таблица 2 **Величина двухстороннего зазора между пуансоном и матрицей при аырубке и нробиаке отверстий ПП из гетинакса**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Толщина материала, мм | Двусторонний зазор в отверстиях , мм | Двусторонний зазор по наружному контуру плат , мм |
| Мини-мальный | Максимальный для 0, мм | Мини-мальный | Максимальный для размеров плат, мм |
| до 10 | до 50 | до 10 | до 50 | до 100 | до 150 | до 200 | до 250 |
| 0,5 | 0,01 | 0,005 | 0,02 | 0,008 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 |
| 1,0 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 |
| 1,5 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,024 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 | 0,055 |
| 2,0 | 0,04 | 0,045 | 0,05 | 0,030 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,085. |
| 3,0 | 0,06 | 0,070 | 0,06 | 0,045 | 0,055 | 0,065 | 0,075 | 0,085 | 0,095 | 0,1 |

Исполнительные размеры матрицы Du рассчитывают следующим образом:

Dм= (- δ) +, (2)

где — исполнительный размер матрицы, мм;

 — номинальный размер вырубаемой ПП, мм;

δ — допуск на соответствующий размер вырубаемой ПП, мм;

 — допуск на изготовление режущего контура матрицы. Назначают в зависимости от степени точности соответствующего размера ПП по табл. 3

Таблица 3. **Допуск на изготовление режущего контура матрицы, в зависимости от степени точности размеров ПП**

|  |  |
| --- | --- |
| Степень точности вырубаемых плат | Допуск на изготовление одного из элементов штампа (матрицы или пуансона) |
| 12/13 квалитеты | 8/9 квалитет |
| 11 квалитет | 6/7 квалитет |

Исполнительный размер пуансона определяют по формуле

 = (-δ-)-, (3)

где — исполнительный размер пуансона, мм;

Dн — номинальный размер вырубаемой ПП;

— двусторонний зазор по наружному контуру (см. табл. 2);

 — допуск на изготовление режущего контура пуансона (см. табл. 3).

В табл. 4 приведены значения допусков для различных квалитетов и размеров ПП.

Таблица 4. **Значения доцусков для различных квалитетов и размеров ПП**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Интервалы |  |  | Значения допусков, мкм, для квалитетов |  |
| размеров, мм | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|  До З | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 100 | 140 | 250 |
|  Свыше 3 | до 6 | 2,5 | 4 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 | 180 | 300 |
|  » | 6 | » 10 | 2,5 | 4 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 | 220 | 360 |
|  » | 10 | » 18 | 3 | 5 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 | 270 | 430 |
|  » | 18 | » 30 | 4 | 6 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 | 330 | 520 |
|  » | 30 | » 50 | 4 | 7 | 11 | 16 | 25 | 39. | 62 | 100 | 160 | 250 | 390 | 620 |
|  » | 50  | » 80 | 5 | 8 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 | 460 | 740 |
|  » | 80 | » 120 | 6 | 10 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 | 540 | 870 |
|  » | 120 | » 180 | 8 | 12 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 |
|  » | 180 | » 250 | 10 | 14 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 | 720 | 1150 |
|  » | 250 | » 315 | 12 | 16 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1300 |
|  » | 315 | » 400 | 13 | 18 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1400 |
|  » | 400 | » 500 | 15 | 20 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1550 |

Пример 1. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы для вибрации вырубка по контуру без подогрева. Определить исполнительные размеры пуансона и матрицы вырубного штампа, представленного на рис.7., для вырубки ПП по контуру.



Вид нижней части



**Рис.7**.Штамп для вырубки ПП по контуру: 1-верхняя плита; 2-прижим; 3- направляющая колонка; 4- направляющая втулка; 5-сепаратор; 6- матрица; 7- нижняя плита; 8-штифт; 9-хвостовик; 10-пуансон

Исходные данные: размеры вырубаемой ПП — 255 х 245 мм (рис. 8); допуск на изготовление по 12 квалитету; материал ПП — гетинакс фольгированный марки ГФ-2-35Г; толщина ПП — 1 мм.



**Рис.8**. Печатная плата к примерам 1 и 2

Решение. При толщине ПП менее 2 мм вырубку по контуру производят без подогрева.

Рассчитаем исполнительные размеры матрицы по формуле (2):

=

где — исполнительный размер матрицы, мм;

— номинальный размер вырубаемой платы, мм;

— предельное отклонение соответствующего размера вырубаемой платы, мм;

 — допуск на изготовление режущего контура матрицы, мм (см. табл. 3).

В соответствии с 12 квалитетом предельные отклонения соответствующего размера вырубаемой платы составляют (см. табл. 4):

 для размера 255 мм = 0,52 мм;

 для размера 245 мм = 0,46 мм.

Для того чтобы изготовить ПП по 12 квалитету матрицу и пуансон необходимо выполнить по 8 квалитету, которому соответствует допуск (см. табл. 3 и 4):

 для размера 255 мм = 0,081 мм;

 для размера 245 мм = 0,072 мм.

Тогда размер матрицы:

= = мм;

 = = мм.

Размеры пуансона выбираем с учетом минимального двустороннего зазора ,. В нашем случае для толщины гетинакса 1 мм Z= 0,045 мм (см. табл. 2).

= =

= =

Окончательно получаем:

исполнительные размеры матрицы: х мм;

исполнительные размеры пуансона: х мм.

* 1. Расчет исполнительных размеров пуансона н матрицы при вырубке с подогревом

Исполнительные размеры матрицы при вырубке контура ПП с подогревом определяют по следующей формуле:

= (4)

где — средняя величина усадки при вырубке с подогревом материала, определяемая по формуле:

=CZ- (5)

Здесь С — коэффициент, характеризующий термическую усадку; Z — размер контура вырубаемой заготовки или ПП, мм; — изменение размера, вызываемое упругостью материала, мм.

Средние значения величин С и выбирают из табл. 5

Таблица 5 **Значения коэффициентов С и**

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала, мм | Коэффициент |
| С |  |
| 1.5 | 0,0022 | 0,04 |
| 2,0 | 0,0025 | 0,05 |
| 2,5 | 0,0027 | 0,06 |
| 3,0 | 0,0030 | 0,07 |

Исполнительные размеры пуансона при вырубке ПП по контуру рассчитывают по формуле

 (6)

Пример 2. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы при штамповке с подогревом.

*Исходные данные* — см. пример 1. Толщина ПП — 2,5 мм.

Решение. Поскольку толщина ПП равна 2,5 мм, то вырубку по контуру проводят с предварительным подогревом заготовки до 80... 100 °С. Рассчитаем исполнительные размеры матрицы по формуле ():

=

при δ = 0,52 мм (см. табл. 4); С= 0,0027 (см. табл. 5.); Z= 255+ 255 + + 245 + 245 = 1000 мм; = 0,06 (см. табл. 5); = 0,081 мм (см. пример .1).

Тогда

= CZ - = 0,0027 • 1000 - 0,06 = 2,64 мм.

Исполнительные размеры матрицы:

= = мм;

= = мм;

Размеры пуансона выбираем с учетом минимального двустороннего зазора В нашем случае для толщины гетинакса 2,5 мм Z= 0,09 мм (см. табл. 2). '

Таким образом, размер пуансона при вырубке ПП по контуру с подогревом составит:

= =

= =

Окончательно получаем:

исполнительные размеры матрицы: х мм;

 исполнительные размеры пуансона: х мм.

1.7. Получение базовых и технологических отверстий штамповкой

Пробивка базовых и технологических отверстий ПП 1- и 2-го класса осуществляют или на пробивных штампах после получения заготовок резкой, или на штампах совмещенного действия из полосы, на которых одновременно производят вырубку по контуру и пробивку базовых и технологических отверстий.

Пробивка базовых и технологических отверстий применяется в крупносерийном и серийном производстве при толщине материала до 2 мм.

* + 1. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы для пробивки базовых и технологических отверстий без подогрева

При пробивке отверстий без подогрева материала следует определять исполнительные размеры пуансона по следующей формуле:

 =( +δ/2 + )-, (7)

Где,-исполнительный размер пуансона, мм;

где - -номинальный размер пробиваемого отверстия, мм;

δ-допуск на диаметр пробиваемого отверстия, мм;

-среднее значение пружинения слоистых пластиков, мм (табл. 6);

-допуск на изготовление режущего контура пуансона, мм (табл. 3).

Таблица 6 **Среднее значение пружинения слоистых пластиков**

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала, мм | Среднее значение пружинения , мм |
| До 0,5 включительно | 0,02 |
| Свыше 0,5 до 1,0 | 0,02...0,04 |
| » 1,0 » 1,5 | 0,04...0,06 |
| » 1,5 » 2,0 | 0,06...0,08 |

Исполнительные размеры матрицы при пробивке отверстий определяют по исполнительным размерам пуансона с учетом минимального гарантированного двустороннего зазора, величина которого указана в табл. 1 и 2, по формуле

 =( + δ/2+ + ) + . (8)

Здесь — минимальный гарантированный двусторонний зазор (см. табл. 1 и 2); — допуск на изготовление режущего контура матрицы, мм (см. табл. 3).

Пример 3. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы для пробивки базовых отверстий без подогрева. Определить исполнительные размеры пуансона и матрицы для пробивки базовых отверстий.

Исходные данные: диаметр базовых отверстий — 4Н12; толщина заготовки ПП — 1,0 мм; материал — стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35Г.

Решение. Поскольку толщина материала равна 1,0 мм, то пробивку отверстий осуществляют без подогрева.

Для пробивки бтверсгий определим исполнительные размеры пуансона по формуле (6)

 = (4,0 + 0,06 + 0,05) - 0,018 = мм,

где = 4,0 мм;

 = 0,12 мм (см. табл. 4);

 = 0,05 мм (см. табл. 6);

 = 0,018 мм — допуск на изготовление режущего контура пуансона (см. табл. 3) выбираем по 8 квалитету, так как отверстия пробиваем по 12 квалитету.

Для пробивки отверстий определим исполнительные размеры матрицы для пробивки отверстий по исполнительным размерам пуансона с учетом минимального гарантированного двустороннего зазора Z2 (см. табл. 1 и 2) по формуле (5.9):

 = = мм.

* + 1. Расчет исполнительных размеров пуансона н матрицы для пробивки базовых и технологических отверстий с подогревом

При пробивке отверстий с подогревом материала исполнительные размеры пуансона определяются по следующей формуле:

 (9)

где 63 — средняя величина усадки отверстия при пробивке с подогревом материала

 = aZ + (10)

Здесь a — коэффициент, характеризующий термическую усадку, выбирают по табл. 7

Таблица 7 **Среднее значение величины а**

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала, мм |  aмртТолщина материала, мм |
| 1,5 | 0,0030 |
| 2,0 | 0,0035 |
| 2,5 | 0,0040 |
| 3,0 | 0,0030 |

Исполнительные размеры матрицы определяются так же, как и при пробивке без подогрева материала.

При пробивке отверстий с подогревом имеет место изменение межцентровых размеров в штампах в результате усадки материала. Потому номинальные межцентровые размеры в штампах определяют следующим образом:

L=l+kl (11)

где L и *l*— номинальные межцентровые расстояния в штампе и по чертежу ПП, мм;

k — коэффициент, характеризующий усадку межцентрового расстояния после остывания материала (табл. 8).

Таблица 8 Среднее значение коэффициента k

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала, мм | Коэффициент к |
| 1,5 | 0,0012 |
| 2,0 | 0,0015 |
| 3,0 | 0,0020 |

Предельные отклонения межцентровых расстояний в штампах не должно превышать ±0,01 мм.

Пример 4. Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы для пробивки базовых отверстий с подогревом

Исходные данные — см. пример 3. Толщина ПП — 3 мм; материал ПП — стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35г.

Решение. Поскольку толщина ПП равна 3 мм пробивка базовых отверстий выполняется с подогревом материала.

Исполнительные размеры пуансона при пробивке отверстий определяем по формуле (8)

= = мм,

где, — исполнительный размер пуансона, мм;

= 4,0 мм — номинальный размер пробиваемого отверстия, мм;

 = 0,12 мм — предельное отклонение диаметра пробиваемого отверстия по 12 квалитету, (см. табл. 4);

 = 0,018 мм — допуск на изготовление режущего контура пуансона, мм (см. табл. 4).

Средняя величина усадки отверстия при пробивке с подогревом материала равна

= aL + = 0,050• 12,56 + 0,07 = 0,132 мм.

Здесь а = 0,050 мм — коэффициент, характеризующий термическую усадку (см. табл. 7); Ь= 2nR= 2-3,14-2= 12,56 мм — длина окружности пробиваемого отверстия, мм; = 0,07 мм — изменение размера, вызванное упругостью материала, мм (см. табл. 5).

Размеры матрицы выбираем с учетом минимального двустороннего зазора. В нашем случае для толщины материала 3 мм его величина составляет 0,080 мм.

В результате получаем:

 = = мм.

* 1. Расчет усилия вырубки (пробивки) печатных плат

Расчетное усилие вырубки по контуру или пробивки отверстий ПП определяется по следующей формуле:

P=+++ (12)

где — усилие вырубки (пробивки), Н;

— усилие прижима материала к плоскости, Н;

— усилие проталкивания, Н;

— усилие снятия отхода или детали с пуансона, Н.

Усилие вырубки (пробивки) рассчитывают по формуле

 = *LS* (13)

Здесь — сопротивление срезу, МПа (табл. 9); L — периметр вырубаемого (пробиваемого) контура, мм; S — толщина материала, мм.

Таблица 9 Сопротивление срезу диэлектриков

|  |  |
| --- | --- |
| Материал диэлектрика | Сопротивление срезу тср, МПа |
| Гетинакс | 80... 120 |
| Текстолит | 90... 140 |
| Стеклотекстолит фольгированный | 120... 150 |
| Стеклотекстолит | 130...150 |
| Стекловолокниты | 100... 110 |
| Гетинакс фольгированный | 110... 130 |

При вырубке (пробивке) для уменьшения расслоения материала и улучшения качества поверхности среза необходимо давление прижима. Усилие прижима материала к плоскости Р2 определяют по формуле

=LS

(14)

где — удельное давление прижима, Па (табл. 10).

Таблица 10 Удельное давление прижима ЛЦ

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала, мм | Удельное давление прижима • 107, Па |
| До 1,0 включительно | 0,6….1 |
| Свыше 1,0 до 2,0 включительно | 1—1,5 |
| Свыше 2,0 до 3,0 включительно | 1,5—2,0 |

Усилие проталкивания Р3 рассчитывают по следующей формуле

= (15)

Здесь = 0,05—0,08 — коэффициент, зависящий от механических свойств материала ПП, величины зазора между пуансоном и матрицей; h— высота цилиндрического пояска матрицы, мм, h ≈S. »

Усилие снятия детали или отхода с пуансона:

= (16)

где — коэффициент, зависящий от толщины материала (табл. 11).

Таблица 11. Значения коэффициента

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина материала S, мм | Коэффициент  |
| однопуансонный пробивной штамп | многопуансонный пробивной штамп |
| До 1,0 | 0,02 | 0,01 |
| 1….5 | 0,06 | 0,12 |

Пример 5.Расчет усилия вырубки (пробивки) ПП.

Определить усилие вырубки ПП по контуру. ;

Исходные данные: размер ПП — 255 х 245 мм (см. рис. 5.20); материал ПП — стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35Г; толщина ПП — 1,0 мм.

Решение. Расчетное усилие вырубки определяем по формуле (5.14):

Р = Р1 +Р2 +Р3 +Р4,

где — усилие вырубки (пробивки), Н (см. формулу (5.14)):

Р1 = LS= 100 • • • 1000 • • 1,0 • = 100 000 Н.

Здесь= 100 МПа — сопротивление срезу, см. табл. 9; L = 1000 мм (255 • 2 + 245 • 2) — периметр вырубаемого (пробиваемого) контура; S= 1 мм — толщина материала; Р2 — усилие прижима, Н (см. формулу (5.15)):

Р2 = LS = 1000 • • 1,0 • • 0,8 • 107 = 8000 Н,

где = 0,8 • 107 Па — удельное давление прижима (см. табл. 10);

Р3 — усилие проталкивания, Н (см. формулу (5.16)):

Р3 = Р1 h/S = 0,065 • 100000 • 1 = 6500 Н,

 = 0,065 — коэффициент, зависящий от механических свойств материала ПП, величины зазора между пуансоном и матрицей, выбираем из пределов (0,05—0,08);

*h* = 1 мм — высота цилиндрического пояска матрицы, мм, h = S

\

 — усилие снятия детали или отхода с пуансона, Н;

 = = 0,06 • 100 000 = 6000 Н,

= 0,06 — коэффициент, зависящий от толщины материала (см. табл. 11).

Тогда усилие вырубки (пробивки) ПП

Р = 10 000 + 8000 + 6500 + 6000 = 120 500 Н.

Последовательность выполнения этапов расчета.

1. Изучают данные чертежа ПП (размеры, допуски, класс точности получения рисунка схемы, марка материала, его характеристики, размеры, допуски и количество монтажных, фиксирующих (базовых) и технологических отверстий и др.), а также размеры листа и ТУ на поставку ПП.
2. Выбирают тип (единичная или групповая), форма, размер технологического поля и заготовки ПП (см. рис. 2 и формулу (5.3)).
3. Производят раскрой листа материала с минимальными отходами.
4. Выбирают способы, последовательность обработки, оборудование, и составляют варианты обработки. Выбор заготовки заключается в установлении формы, размеров и размеров технологического поля (см. рис. 2, рис.3 и формулу (5.3)).
5. Выполняют расчет технологических параметров, например, при штамповке (при вырубке и пробивке) — исполнительные размеры пуансона и матрицы; усилие вырубки заготовки, пробивки фиксирующих или технологических отверстий.

Порядок выполнения РГР

1. Проанализировать исходные данные согласно выбранному варианту.
2. Выбрать тип заготовки, размер технологического поля, размер заготовки (см. рис. 2, рис. 3 и формулу (1)).
3. Рассчитать площадь заготовки, выполнить раскрой листа материала на полосы и заготовки, рассчитать коэффициент использования материала (см. пример расчета).
4. Рассчитать исполнительные размеры пуансона и матрицы при вырубке заготовки или пробивке фиксирующих и технологических отверстий (см. разд. 1.6, разд.1.7).
5. Рассчитать усилие вырубки заготовки или пробивки отверстий (разд. 1.8).

Варианты заданий для выполнения РГР приведены в табл. 12.

Таблица 12 Варианты заданий для выполнения РГР

|  |  |
| --- | --- |
| Исходные данные | № варианта |
| 123 | 456 | 7 8  9 | 101112 | 131415 |
| Размер ПП, мм | 130 x 200 | 130 x 200 | 200 x 360 | 120 х120 120 х160120 х 240 | 170 х 280 |
| Класс точности ПП | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| Количество монтажных и переходных отверстий | 3005001000 | 3005003000 | 2004002000 | 2504502500 | 2000 |
| Тип ПП | ОПП | ДПП | ОПП | ДПП | ДПП |
| Материал ПП, толщина фольги, мкм | ФТС-1-18ФТС-2-18 | FR-4 1,5 Си 18/18 | СТФ-1-35 | СФ-2-35Г | СОНФМ-2-35 |
| Размер листа материала, мм | 1020 х 1230 | 1070 х 1165 | 1100x 1000 | 1030 х 920 | 1020 х 920 |
| Толщина материала, мм | 0,12; 0,23; 0,5 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 3,0 |
| Диаметр базовых отверстий, мм | 4,0 | 4,0 | 3.0 | 3,0 | 2.5 |
| Количество базовых отверстий | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Точность диаметра базового отверстия | Н9 | Н9 | Н12 | Н9 | Н9 |
| Предельные отклонения межцентрового расстояния базовых отверстий, мм | ±0,03 | ±0,03 | ±0,05 | ±0,03 | ±0.03 |
| Степень точности вырубаемой ПП или отверстия (квалитет) | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 |
| Количество и диаметр технологических отверстий, мм | 4 отв.х 4 | 4 отв. х 4 | 4 отв. х 3,5 | 4 отв. х 3,5 | 4 отв. х 4 |
| Годовая программа выпуска, шт. /год | 100010000100000 | 100010000100000 | 100010000100000 | 100010000 100000 | 100010000100000 |
| Сопротивление срезу, МПа | 120-150 | 120-150 | 120 -150 | 120 - 150 | 120 - 150 |

**Пример выполнения РГР**

*Исходные данные*

Размер ПП, мм 200 х 360

Класс точности ПП 1

Группа сложности ПП 1

Количество монтажных и переходных отверстий на ПП 200

Метод изготовления ПП химический позитивный

Тип ПП ОПП

Материал ПП, толщина фольги, мкм ". СТФ-1; 35

Размер листа материала, мм 1 1100 х 1000

Толщина материала, мм 1,5

Диаметр базовых отверстий, мм 3

Количество базовых отверстий 3

Точность диаметра базового отверстия Н12

Предельное отклонение межцентрового расстояния базового отверстия, мм ±0,05

Степень точности вырубаемой ПП или отверстия (квалитет) 13

Количество и диаметр технологических отверстий, мм 4 отв. х 3,5

Годовая программа выпуска, шт./год 200 000

Сопротивление срезу, МПа 120... 150

Материал ПП СТФ-1-35 — стеклотекстолит фольгированный стойкий негорючий

Порядок выполнения

1. Изучить исходные данные.
2. Выбрать тип заготовки ПП - единичная (рис. 2);

размеры технологического поля и площадь заготовки определить по формуле (1) и рис. 2.

Тогда при Ш = 10 мм и размере ПП 200 х 360 мм

*Аз = Ап + 2Ш;*

*А3 =* 220 мм; *Ап* = 380 мм;

FД = 220 • 380 = 83 600 мм2.

1. Выполнить раскрой листа материала размером 1100 х 1000 мм2 на полосы и заготовки (рис. 9).



Рис. 9. Раскрой материала на заготовки ПП

Получили, что из листа размером 1100 х 1000 мм можно получить две полосы, пять заготовок в каждой полосе и достаточно большой отход (третья полоса). Тогда коэффициент использования материала:

η = nFД/BL = 2\*5\*83600/1000\*1100 = 0,76

где *п —* число заготовок в полосе;

*FД* — площадь заготовки ПП, мм2;

*В и L —* ширина и длина листа, мм.

*•*4**.** Расчет технологических параметров выбранного оборудования. Рассчитаем исполнительные размеры пуансона и матрицы штампа при штамповке без подогрева.

Поскольку толщина материала равна 1,5 мм, то вырубку заготовки ПП и пробивку отверстий осуществляют без подогрева.

1. Исполнительные размеры матрицы при вырубке заготовки ПП без подогрева рассчитывают следующим образом по формуле (5.4):

Dм = (Dн-δ) + δм,

где Dм — исполнительный размер матрицы, мм;

*Dн* — номинальный размер вырубаемой заготовки ПП, мм (220 х 380 мм2);

δ — допуск на соответствующий размер вырубаемой заготовки ПП, мм;

δм — допуск на изготовление режущей кромки матрицы, который назначают в зависимости от степени точности соответствующего размера ПП (см. табл. 3).

В соответствии с 13-м квалитетом (см. исходные данные) предельные отклонения δ соответствующего размера вырубаемой заготовки ПП составляют (см. табл. 4):

для размера 380 мм — δ = 0,890 мм; для размера 220 мм — δ = 0,720 мм.

 Для того чтобы изготовить заготовку ПП по 13-му квалитету матрицу и пуансон необходимо выполнить по 9-му квалитету, которому соответствует следующий допуск (см. табл. 5.11 и 5.12): для размера 380 мм — δМ = 0,140 мм; для размера 220 мм — δМ = 0,115 мм.

Тогда размер матрицы

Dм1= (380 -0,890)+0,140 = 379, 11+0,140 мм;

Dм2 **=** (220 **-** 0,720)+0,115 **=** 219,28+0,115 мм.

Размеры пуансона выбираем с учетом минимального двухстороннего зазора **Z1.** В нашем случае для толщины стеклотекстолита 1,5 мм **Z1** = = 0,040 мм (см, табл. 1), а размер пуансона по формуле (5.5) равен

Dп = (Dн – δ – Z1) – δп

Dп1 = (380 – 0,890 – 0,040)-0,140 = 379,07-0,140 мм

Dп2 = (220 – 0,720 – 0,040)-0,115 = 219,24-0,115 мм

В результате получаем:

исполнительные размеры матрицы: 379,11+0,140 х 219,28+0,115 мм; исполнительные размеры пуансона: 379,07\_0,140х 219,24\_0,115 мм.

2. Исполнительные размеры пуансона при получении базовых и технологических отверстий пробивкой без подогрева определяют по формуле (5.8):

Dп = (D0+ δ/2 + δ2) - δп,

где Dп — исполнительные размеры пуансона, мм;

D0 = 3,0 мм — номинальный размер пробиваемого отверстия, мм;

δ= 0,10 мм — допуск на диаметр пробиваемого отверстия, мм (см. табл. 5.12);

δ = 0,5 мм — средняя величина пружинения слоистых пластиков, мм (см. табл. 5.14);

δ2 = 0,018 мм — допуск на изготовление режущего контура пуансона (см. табл. 5.11) выбираем по 8-му квалитету, так как отверстия пробиваем по 12-му квалитету.

Тогда

Dп = (3,0 + 0,05 + 0,05) - 0,018 = 3,11 -0,018 мм.

Исполнительные размеры матрицы для пробивки отверстий определим по исполнительным размерам пуансона с учетом минимального гарантированного двухстороннего зазора Z2 = 0,045 мм (см. табл. 5.9) по формуле (5.9):

Dм = (D0+ δ/2 + δ2 +Z2)δм = (3,0 + 0,05 + 0,05 + 0,045)+0,018 = 3,1450,018 мм;

δМ = 0,018 мм — допуск на изготовление режущего контура матрицы (см. табл. 5.11).

 3. Рассчитаем усилие вырубки (пробивки). Поскольку для одновременной вырубки заготовки и пробивки базовых и технологических ) отверстий применяем штамп совмещенного действия, то расчетное усилие вырубки и пробивки определяем по формуле (12):

P = P1 + P2 + P3 + P4

 где Р1 — усилие вырубки и пробивки, Н (см. формулу (6)):

Р, = τср(L1 *+* L2+L3*)S =* 120 • 103 • 103 • (1200 + 56,5 + 87,9) х 10 -3 • 1,5 • 10 -3 =

= 120 \*1344,4 \*1,5 = 241 992 Н.

Здесь τср = 120 МПа — сопротивление срезу (см. табл. 9);

L1 *=* 1200 мм (380 \*2 + 220 • 2) — периметр вырубаемого контура;

L2 = 3 (2л*R)* = 3 • 2 • 3,14 • 3 = 56,5 мм — периметр пробиваемых базовых отверстий;

Lз = 4 (2πR) = 4 • 2 • 3,14 • 3,5 = 87,9 мм — периметр пробиваемых технологических отверстий;

S = 1,5 мм — толщина материала;

*Р2* — усилие прижима

Р2 = LSKпр= 1344,4 • 10 -3 \* 1,5 • 10 -3 • 0,8 \* 107 = 16 133 Н,

где Kпр = 0,8 • 107 Па — удельное давление прижима (см, табл. 5.18);

Р3 — усилие проталкивания

Р3 = K1P1h/S*=* 0,065 \*241 992 • 1 = 15 729 Н;

К1 = 0,065 — коэффициент, зависящий от механических свойств материала ПП, величины зазора между пуансоном и матрицей, выбираем из пределов (0,05—0,08);

h = 1,5 мм — высота цилиндрического пояска матрицы, мм (h = S*);*

Р4 *—* усилие снятия детали или отхода с пуансона

*Р4* = *К2Р1* = 0,12 • 241 992 = 29 039 Н;

К2 *-* 0,12 — коэффициент, зависящий от толщины материала (см. табл. 11).

Тогда расчетное усилие вырубки (пробивки) ПП

Р*=* 241 992 + 16 133 + 15 729 + 29 039 = 302 893 Н.

Литература

1. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА - М, 2005. – 560 с. (Высшее образование).
2. Сборник задач и упражнений по технологии РЭА/Под ред. Е.М.Парфенова, М.: Высшая школа, 1992

3. ГОСТ 23 751-86 Платы печатные. Основные параметры конструкций.

4. ГОСТ 10 317-79 Платы печатные. Основные размеры.