



БИБЛИОТЕЧКА
ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

О. В. Кудрявцева

ТЕХНИЧЕСКАЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

GW
Мир гальваники

ПОЛИТЕХНИКА



БИБЛИОТЕЧКА
ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

Выпуск 2

О. В. Кудрявцева

ТЕХНИЧЕСКАЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

Под редакцией
кандидата технических наук Г. К. Буркат



ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Санкт-Петербург 2011

Электронный аналог печатного издания: Кудрявцева О. В. Техническая гальванопластика / под ред. Г. К. Буркат. — СПб.: Политехника, 2010. — 148 с.: ил. (Б-чка гальванопластика. 6-е изд.: Вып. 2)

УДК 621.357.6
ББК 34.663
К88



Рецензенты: *Б. Г. Карбасов*, генеральный директор ООО «КААС», кандидат технических наук; *Г. К. Буркат*, доцент кафедры ТЭП СПбГТУ, кандидат химических наук

Кудрявцева О. В.

К88 Техническая гальванопластика / О. В. Кудрявцева; под ред. Г. К. Буркат. — СПб.: Политехника, 2011. — 148 с.: ил. — (Б-чка гальванопластика. 6-е изд.: Вып. 2)
ISBN 978-5-7325-0930-4

В книге подробно описаны технологические процессы изготовления формообразующих элементов пресс-форм, полых тонкостенных изделий сложной конфигурации и плоских изделий. Большое внимание уделено вопросам изготовления моделей и материалам, из которых они сделаны. Рассмотрены вопросы металлизации диэлектрических материалов. Приведены составы электролитов, способы их приготовления и корректировки. Книга предназначена для инженерно-технических работников и мастеров гальванических цехов заводов, а также для специалистов проектных организаций; может быть использована студентами вузов.

УДК 621.357.6
ББК 34.663

ISBN 978-5-7325-0930-4

© Издательство
«Политехника», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Гальванопластика — технология получения точных металлических копий путем осаждения металла на модели, которые после окончания процесса отделяются. Точность рабочих размеров и шероховатость поверхностей получаемых гальванопластических копий всецело зависят от точности размеров и шероховатости поверхности модели, на которую происходит осаждение металла.

В основе метода лежит явление гальванопластического копирования, открытое российским ученым Б. С. Якоби в 1838 году. В начале XIX века в Петербурге был построен первый завод по изготовлению из меди скульптур, барельефов, досок для печатания кредитных билетов.

Внедрение гальванопластики в крупных промышленных масштабах началось в начале XX века в производстве:

— формообразующих элементов пресс-форм со сложной конфигурацией поверхности (светоотражателей, линз Фринеля, голографических пленок, игрушек, корпусов с переменной кривизной поверхности, мелко модульных косозубых шестеренок с любым углом наклона зуба и т. д.);

— объемных деталей с высокими требованиями по точности и шероховатости внутренних поверхностей (волноводных узлов, сопел, катодов электронных ламп, металлооптики и т. д.);

— плоских мелкоструктурных деталей (кодирующих дисков, сеток, фильтров, деталей часовых механизмов и т. д.);

— художественных изделий (скульптур, окладов икон, панно и т. д.).

Метод гальванопластики целесообразно применять при изготовлении формообразующих элементов оснастки в инструментальном производстве и деталей основного производства, имеющих сложный рельеф, получение которых механическим путем либо неэкономично, либо не представляется возможным. Гальванопластика, как и любой другой метод, обладает как преимуществами, так и недостатками [1]. К основным преимуществам метода относятся:

— высокая точность воспроизведения микро- и макрогеометрического сложного рельефа поверхности, на которую производится электроосаждение металла;

— низкая стоимость оснастки и оборудования, что позволяет часто менять конструкцию деталей;

— возможность многократного использования моделей для наращивания;

— идентичность деталей, снимаемых с одной модели (это особенно важно в производстве многоступенчатых пресс-форм и при изготовлении электрод-инструмента для электроэрозионной обработки металлов;

— возможность при больших сериях производства одновременно изготавливать большое количество деталей, которое определяется размерами ванн и мощностью источников тока;

— возможность изменять в широком диапазоне свойства осаждаемых металлов и сплавов, изменяя режимы осаждения и используя различные добавки к электролитам;

— возможность получать комбинированные детали из различных металлов и неметаллов;

— небольшие затраты труда по сравнению с такими методами формообразования, как механическая обработка, литье, штамповка;

— значительная экономия металла.

К недостаткам метода гальванопластики следует отнести следующие:

— неравномерность распределения электролитических осадков по рельефной поверхности модели, затрудняющая изготовление деталей с прямыми углами, углублениями и каналами;

— ограниченное число металлов и сплавов, которые можно использовать при изготовлении деталей;

— относительно невысокая скорость осаждения.

За время, прошедшее с момента открытия гальванопластики, расширился и ассортимент металлов и сплавов, пригодных для электролитического формования толстых слоев. Это медь, никель, железо, хром, свинец, золото, серебро; сплавы: никель—кобальт, никель—железо, никель—кремний, никель—вольфрам.

В предлагаемой книге рассмотрены технологии изготовления формообразующих элементов оснастки и деталей основного производства из меди, никеля и сплава никель—кобальт.

Г л а в а 1

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМ

1.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМ

Метод гальванопластики при изготовлении формообразующих элементов пресс-форм целесообразно применять для получения деталей сложной конфигурации из термопластов. Технологический процесс изготовления формообразующих элементов пресс-форм методом гальванопластики включает в себя следующие этапы:

- проектирование и изготовление модели;
- нанесение токопроводящего слоя в случае использования моделей из диэлектрических материалов;
- электролитическое осаждение рабочего слоя;
- нанесение конструкционного слоя;
- механическую обработку формообразующего элемента;
- извлечение модели.

Проектирование и изготовление модели является одним из важных этапов в технологии гальванопластики. Он определяет последующую технологию изготовления готового изделия и его качество.

Моделью в гальванопластике называют изделие, на которое непосредственно осаждают металл, чтобы получить обращенную копию поверхности. Модель определяет конфигурацию, размеры, точность и шероховатость поверхности изготавливаемого изделия.

Выбор материала модели определяется требуемой точностью готового изделия, трудоемкостью изготовления модели и необходимостью ее многократного использования. Необходимо также учитывать тепло-

физические свойства материала — коэффициент объемного и линейного расширения при температуре работы электролита и физико-химические свойства — коррозионную стойкость и степень травления.

Материалом модели могут служить коррозионно-стойкие стали следующих марок: 40X13 твердостью 42 HRC, 95X18, 12X18H9T, 12X18H10T, а также инструментальные стали марок У8, УЮА, ХВГ с покрытием Ндэ18Х (двухслойное покрытие никелем толщиной 18 мкм с последующим наложением 0,25 мкм хрома с заполнением). Металлические модели — это модели многократного использования и применяются в тех случаях, когда необходимо получить формообразующие элементы 7-го–8-го качества точности с низкой степенью шероховатости. Материалом модели могут служить также эпоксидные и полиэфирные смолы, каучуки, восковые композиции, гипс, дерево, любые виды пластмасс.

Размеры металлических моделей рассчитываются так же, как металлические формообразующие элементы, с учетом усадки материала пластмассового изделия и его точности:

$$B_{\text{мод}} = (B_{\text{пл. изд}} + Q_{\text{пл}} - 0,8\Delta) - d,$$

где $B_{\text{пл. изд}}$ — номинальный размер пластмассового изделия, мм; $Q_{\text{пл}}$ — уменьшение размера изделия за счет усадки пластмассового изделия при литье под давлением,

$$Q_{\text{пл}} = \frac{E_{\text{пл}} B_{\text{пл. изд}}}{100};$$

$E_{\text{пл}}$ — усадка материала изделия, %; Δ — допуск по чертежу на размер пластмассового изделия, мм; d — допуск на соответствующий номинальный размер модели по 9-му–10-му качеству.

Шероховатость поверхности формообразующей части модели определяется требованиями, предъявляемыми к изделию, и должна составлять: $R_a = 0,1$ мкм. Высота неровностей опорной поверхно-

сти модели, технологической базы должна быть не выше $R_a = 0,8$ мкм.

По высоте модели (рис. 1.1) необходимо оставить технологический припуск $h = 0,5 \div 3,0$ мм для последующей шлифовки формообразующего элемента до требуемых размеров после извлечения из него модели.

На формообразующей поверхности модели в направлении разъема должен быть предусмотрен технологический уклон в пределах допуска на изделие. Кромка, образованная формообразующей и опорной поверхностями, не должна иметь радиусов, фасок, забоин, царапин. Модель в зависимости от габаритных размеров должна иметь технологические базы (хвостовики или базовые отверстия) для промежуточной и окончательной обработки формообразующего элемента, а также крепежные отверстия для крепления токоподводов и возможности извлечения модели из формообразующего элемента. В случае изготовления модели из нескольких элементов зазор между составными частями не должен превышать $0,01$ мм.

В модели не должно быть отверстий и пазов с соотношением глубины h к ширине a более $1,5$ (рис 1.2). Не допускаются также острые углы и кромки (предусматриваются радиусы не менее $0,2$ мм).

При завешивании модели в ванну для наращивания гальванопластического осадка технологическую базу от наращивания следует предохранять. В модели могут быть изготовлены разводящие литники, если между моделью и литниками нет других впа-

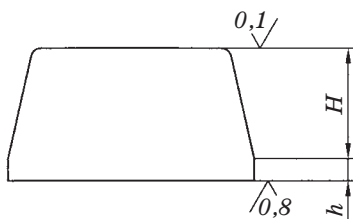


Рис. 1.1. Оформление наружного контура модели

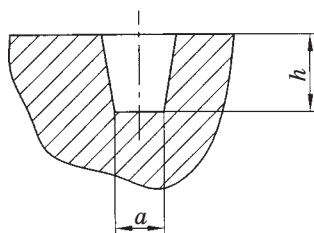


Рис. 1.2. Оформление внутреннего контура модели

дин и острых углов, и установлены втулки под толкатели, которые монтируются вне модели. Запрещается оформлять в электролитических осадках отверстия под центральный летник и толкатели.

На практике часто приходится сталкиваться с тиражированием моделей и изготовлением формообразующего элемента по уже готовому изделию. Для тиражирования модели необходима эталонная модель. Изготавливается эталонная модель либо механическим способом, либо методом прототипирования; при этом следует учитывать помимо усадки пластмассового изделия также усадку материалов, из которых изготавливаются матрица и сама модель.

Материал для изготовления матрицы должен обладать универсальными свойствами: технологичностью, прочностью и эластичностью, антиадгезионными свойствами к металлам и пластмассам, низкой токсичностью.

К важнейшим технологическим свойствам относятся низкая вязкость, достаточная жизнеспособность, малый экзотермический эффект при вулканизации, незначительная усадка.

Низкая вязкость композиции позволяет заливать ее легко, заполняя узкие полости и щели, точно копировать формообразующую поверхность. Входящий в состав композиции наполнитель должен не только усиливать, но и придавать ей тиксотропные свойства, что позволяет наносить композицию кистью на вертикальные поверхности. Применяемые для вулканизации композиции катализаторы должны обеспечивать малый экзотермический эффект, что позволяет получать матрицы без образования в них значительных внутренних напряжений, приводящих к деформации материалов и потере эластичности. Точность таких матриц зависит от разброса усадки композиции, которая, в свою очередь, зависит от температуры и времени вулканизации и точности соблюдения соотношения компонентов композиции. Необходимо подбирать такие режимы и технологии, которые обеспечивали бы стабильность размеров матрицы при эксплуатации.

Материалом для изготовления матрицы служит наполненная композиция на основе низкомолекулярных силиконовых каучуков типа КЛСЕ-305, КЛ-4, КЛС-55, У-4-21, пентапласт П-752 марки В и марок П-708, П-750, КЛФ-20.

Основные технические характеристики некоторых композиций приведены в табл. 1.1.

Технология тиражирования моделей следующая: на подмодельную плиту без зазора устанавливают эталонную модель либо готовое изделие. Мерным воском создается технологический припуск или пластилином выкладывается плоскость разъема. В зависимости от материала эталонной модели или готового изделия поверхность модели обезжиривают водным раствором любого моющего средства или органическими растворителями.

Т а б л и ц а 1.1

Физико-механические свойства силиконовых композиций

Показатель	П-708	КЛСЕ	П-750	КЛС-55	П-752 марки В
Плотность, кг/м ³	1113	1 150	1 120	1200	1 120
Твердость по Шору, отн. ед.	20	50–70	35	50–60	30
Относительное удлинение по разрыву, %	600	90–140	500	100–120	350
Линейная усадка, %	<0,1	0,17–0,3	<0,05	0,5–0,8	≤0,05
Жизнеспособность, мин	60–90	15–40	90–120	15–40	60–120
Сопротивление разрыву, МПа	6,3	1,0–1,5	3,5	1,0–1,3	4,5
Коэффициент теплового линейного расширения, 1/град × 10 ⁻⁵	–	22	–	3–4	–
Усредненная вязкость при 20 °С, сПз	9000	10 000	25 000–50 000	8000	30 000–120 000

Затем приготавливают облицовочную композицию из силиконовго каучука и катализатора (соотношение каучука и катализатора зависит от выбранной композиции). Компоненты композиции тщательно перемешивают в течение 2–3 мин и тотчас кистью наносят на поверхность изделия. Облицовочный слой отверждается до гелеобразного состояния приблизительно 20–30 мин, после чего устанавливают опоку и заливают необходимым объемом вновь приготовленной композиции того же состава. После отверждения композиции (полное отверждение происходит через 24 ч) модель извлекают из матрицы за счет упругой деформации ее стенок. В полученной матрице отливают модель из эпоксидного компаунда, состоящего из 100 г эпоксидной смолы, 15 г полиэтиленполиами́на, 5 г аэросила и 15–20 г графита, где полиэтиленполиамин является катализатором, а аэросил — регулятором тиксотропных свойств. Сначала на поверхность матрицы кистью наносят несколько облицовочных слоев, при этом перед нанесением очередного слоя предыдущий слой доводят до высоковязкого состояния в течение 1,5–2,0 ч. Затем устанавливают опоку и заливают необходимый объем вновь приготовленной композиции того же состава. После отверждения композиции модель извлекают из эластичной матрицы.

1.2. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ К ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧЕСКОМУ ОСАЖДЕНИЮ РАБОЧЕГО СЛОЯ

Способ подготовки поверхности модели к гальванопластическому осаждению рабочего слоя обуславливается материалом, из которого изготовлена модель.

Все металлические модели подвергаются механической полировке. Это способствует осаждению мелкокристаллических осадков и облегчает съём формо-

образующих элементов с модели. Однако после механической обработки на поверхности модели остается большое количество масляных загрязнений и полировочных паст. Поэтому поверхность модели обрабатывают бензином или другим растворителем до полного удаления загрязнений. После этого поверхность модели обезжиривают смесью из порошка «Эшка» или «Венской извести» ($\text{CaO} : \text{MgO}$ в соотношении 1 : 1) и 50% -ного раствора синтетического моющего средства типа ТМС-31, МЛ-51. Компоненты берутся в соотношении 1 : 1. Обезжиривание происходит при комнатной температуре в течение 10–15 мин. Если на поверхности модели остались только следы от полировочных паст, можно использовать концентрированное щелочное средство «Пентамаш-3», которое может заменить традиционные растворители, такие как бензин, уайт-спирит. Для обезжиривания поверхности готовят водный раствор «Пентамаш-3» концентрацией 3–15 %. Модель погружается в раствор и выдерживается 5–15 мин. В случае сильных загрязнений модель может выдерживаться в растворе до 5 ч при рабочей температуре раствора 20–40 °С. Затем поверхность модели растирают щеткой. После проведенных операций следует тщательная промывка последовательно горячей, холодной и дистиллированной водой. В случае неполного смачивания поверхности модели водой операцию необходимо повторить снова.

1.3. НАНЕСЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ

Одной из важных является операция нанесения на поверхность металла разделительных слоев. Она дает возможность снимать гальванопластические копии с металлических изделий. В случае нарушения разделительного слоя гибнет не только копия, но и оригинал, с которого эту копию снимают. Разделительные слои должны отвечать следующим требованиям:

— омическое сопротивление разделительного слоя не должно препятствовать прохождению необходимого для электроосаждения тока;

— покрывать поверхность модели равномерно и полностью;

— не растворяться в электролите;

— препятствовать коррозии основы поверхности модели (в случае использования инструментальных сталей).

Для отделения меди от меди можно применять восковые композиции, например 0,05–0,5% -ный раствор пчелиного воска в скипидаре, содержащем 1 % сероуглерода, масляные эмульсии или 2–3 масс. ч. высокомолекулярного полиизобутилена марки П-200 в 97–98 масс. ч. бензина. Также можно использовать раствор бихромата калия — 120 г/л в течение 5–7 мин при комнатной температуре. Для отделения никеля от никеля лучше всего наносить сульфидные пленки меди или свинца.

Для защиты инструментальной стали от коррозии при последующем наращивании металла из кислых электролитов применяют либо покрытие электролитическим хромом, либо химическое никелирование. Процесс химического никелирования основан на реакции восстановления ионов никеля гипофосфитом в водных растворах и осуществляется путем погружения в нагретый до температуры 90–95 °С раствор деталей, поверхность которых подготовлена принятыми в гальваностегии методами. Образующиеся покрытия представляют собой сложную систему, включающую наряду с никелем до 12 % фосфора.

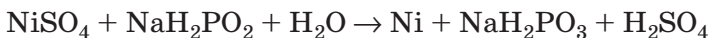
Лучший эффект достигается при нанесении химического никеля из раствора следующего состава, мл/л:

Никель сернокислый $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (концентрат 300 г/л)	100
Гипофосфит натрия NaH_2PO_2 (концентрат 150 г/л)	100
Натрий уксуснокислый CH_3COONa (концентрат 100 г/л)	100
pH	6,1–6,2

Для приготовления 1 л раствора необходимо отмерить по 100 мл концентрата каждого компонента. Слить растворы никеля сернокислого и натрия уксуснокислого и разбавить дистиллированной водой до 0,9 л. Затем нагреть раствор до температуры 85–90 °С и прилить к нему при интенсивном перемешивании 100 мл гипофосфита натрия. Скорость осаждения составляет 20 мкм/ч при плотности загрузки 0,4–0,6 дм²/л.

Время никелирования зависит от требуемой толщины слоя покрытия, плотности загрузки, температуры и состава электролита. Оптимальная температура раствора составляет 85–90 °С. Повышение температуры свыше 92 °С может привести к самопроизвольному разложению раствора с выделением металлического никеля и фосфидов никеля в виде порошка или дендритов в растворе или на стенках сосуда.

Снижение температуры ниже 85 °С приводит к снижению скорости восстановления никеля и к полному прекращению процесса при температуре ниже 70 °С. Процесс химического никелирования ведут при рН, равном 6,1–6,2. Во время проведения процесса происходит увеличение кислотности раствора, связанное с тем, что реакция восстановления никеля протекает с образованием кислоты по следующей реакции:



Это приводит к снижению скорости осаждения никеля, а при рН ≤ 3,0 процесс восстановления никеля практически прекращается. Таким образом, во время никелирования раствор следует периодически подщелачивать.

Для эффективного использования объема раствора необходимо соблюдать определенное соотношение объема раствора V , см³, к площади покрываемой поверхности S , см²:

$$L_{\max} = \frac{V}{S} \leq 10,$$

где L_{\max} — максимальное использование раствора.

Продолжительность никелирования τ зависит от плотности загрузки:

$$t = D/5 \text{ ч,}$$

где D — плотность загрузки, $\text{дм}^2/\text{л}$, $D = 40/a$, a — толщина покрытия, мкм .

Технология нанесения химического никеля следующая: стальные детали, смонтированные на медных, латунных, винипластовых подвесках или капроновых нитях, после очистки в бензине обезжиривают в химических растворах.

Чаще всего химическое обезжиривание производят в растворах:

— тринатрийфосфат — 10–12 г/л, кальцинированная сода — 10–12 г/л, ОС-20 — 5–10 г/л при температуре 70–80 °С в течение 3–10 мин при непрерывном воздушном перемешивании;

— кальцинированная сода — 40–60 г/л, сульфатнол — 8–10 г/л при температуре 70–80 °С в течение 5–20 мин.

Допускается замена ОП-7, ОП-10 и сульфанола на другие поверхностно-активные вещества. Затем места, не подлежащие покрытию, изолируются перхлорвиниловыми эмалями ХВЭ-16, ХВЭ-20, ХВЭ-21, ХВЭ-22, перхлорвиниловой лентой или перхлорвиниловым лаком ХВЛ-21, так как эти изоляционные материалы являются химически стойкими в кислых средах при температуре 80–95 °С. Эмаль или лак наносят кистью в два-три слоя, причем каждый слой перед нанесением следующего должен хорошо просохнуть. Для ускорения процесса изоляционный слой можно просушить в сушильном шкафу при температуре 60–70 °С. Подтеки изоляции зачищают и производят электролитическое обезжиривание в растворе, состоящем из 50–70 г/л каустической соды, 30–50 г/л кальцинированной соды, 3–5 г/л жидкого стекла при комнатной температуре и плотности тока 8–10 А/дм². Время обезжиривания на катоде составляет 10–15 мин, на аноде — 2–3 мин. После обезжиривания детали промывают горячей и холодной про-

точной водой и активируют в соляной кислоте с концентрацией 200–300 г/л при комнатной температуре в течение 1–2 мин. Шлам с поверхности деталей очищают волосяной щеткой. После активирования детали промывают проточной холодной водой в течение 30 с и затем опускают в горячую воду температурой 85–95 °С на 1–2 мин. После промывки детали сразу же опускают в раствор химического никелирования.

Как уже говорилось выше, во время работы необходимо поддерживать требуемую кислотность раствора. Для поддержания рН раствора в рабочих пределах необходимо производить его корректировку 1,0–1,5% -ным раствором каустической соды. Корректировка раствора осуществляется через 15–25 мин по показанию рН-метра (табл. 1.2).

Введение корректировочного раствора необходимо производить при интенсивном перемешивании, избегая попадания его на поверхность покрываемых деталей. После никелирования детали тщательно промывают в горячей и холодной проточной воде и высушивают теплым сжатым воздухом, очищенным от масла. Далее для улучшения сцепления покрытия с основой и повышения его твердости производится термическая обработка деталей. Детали за-

Т а б л и ц а 1.2

Корректировка раствором каустической содой

Значение рН раствора до корректировки	Количество 1,5%-ной каустической соды, добавленной на 1 л раствора, мл	Значение рН раствора после корректировки
3,0	92	4,5
3,2	90	4,6
3,4	80	4,5
3,6	70	4,8
3,8	58	4,5
4,0	50	4,6

грузают в сушильный шкаф и нагревают до температуры 250–300 °С, выдерживают при этой температуре в течение 1 ч и охлаждают до комнатной температуры, не вынимая из сушильного шкафа. При термической обработке на деталях могут появлять-

Т а б л и ц а 1.3

Способы устранения дефектов при химическом никелировании

Характер дефекта	Причины неполадок и способы их устранения
Грубый, шероховатый, нестирающийся осадок никеля. Пониженная скорость процесса никелирования	Накапливающиеся в процессе никелирования фосфиты выпадают в осадок, вызывая помутнение раствора. Это имеет место при $pH \leq 3$. Раствор необходимо отфильтровать, предварительно подщелочив его до $pH 6,1-6,2$
Растрескивающийся, хрупкий осадок. Чрезмерное увеличение скорости образования покрытия	Сильное отклонение pH от заданного значения: при $pH \leq 3$ или $pH \geq 6,2$. Растрескивание также имеет место при больших толщинах, когда скорость покрытия очень велика. Необходимо поддерживать постоянное значение pH
Отслаивание осадка (пузыри)	Плохая подготовка поверхности перед покрытием
Пятнистый никель с выделением гидрата закиси никеля. Легко смывающийся осадок	Высокое значение pH (более 6,2) при высокой или низкой температуре раствора
Саморазряд никелевой ванны (объемное осаждение никеля)	Перегрев ванны выше температуры 92–93 °С, либо избыток гипофосфита натрия, либо попадание частичек металла в раствор от подвесок Раствор для дальнейшего употребления не пригоден
Питтинг, следы водорода на поверхности детали	Отклонение от заданного значения pH . Во время работы следует покачивать деталь, чтобы водородные пузыри не задерживались на поверхности детали

ся цвета побежалости, которые не являются признаком брака. После термообработки, при необходимости, можно вводить операцию по механической обработке деталей (полирование). Основные неполадки при химическом никелировании и способы их устранения приведены в табл. 1.3.

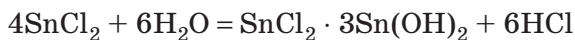
1.4. ПОДГОТОВКА МОДЕЛЕЙ ИЗ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Подготовка моделей из диэлектриков перед осаждением рабочего слоя включает следующие операции:

- обезжиривание;
- сенсибилизацию;
- активацию;
- химическую металлизацию.

Обезжиривание. Операция обезжиривания моделей из диэлектрических материалов осуществляется в органических растворителях или в щелочных водных растворах с добавкой поверхностно-активных добавок. Для обезжиривания подбираются такие растворители, которые не взаимодействуют с материалом модели и не вызывают ее набухание или растрескивание [1]. Например, модели из эпоксидных компаундов хорошо обезжириваются ацетоном и водным раствором смачивателя НБ (Некаль), а модели из оргстекла — только последним раствором.

Сенсибилизация. Для придания поверхности каталитических свойств, обеспечивающих начальное протекание реакции при металлизации, выполняют операцию сенсибилизации. Она заключается в обработке поверхности модели солянокислым раствором двуххлористого олова. Сущность процесса состоит в том, что на поверхности адсорбируется хлористое олово, которое гидролизуеться до основного хлорида олова, во время промывания водой [2]:

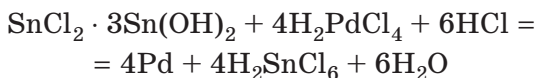


Обработка поверхности модели осуществляется методом погружения на 15–20 мин в раствор комнатной температуры следующего состава:

Олово двухлористое $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, г/л 20–25
Соляная кислота HCl (плотностью 1,19), мл/л . . . 50–60
Олово гранулированное Sn (металл), г/л 1,0–2,0

Расчетное количество двухлористого олова при нагревании растворяют в соляной кислоте и после остывания доводят дистиллированной водой до необходимого объема. В приготовленный раствор добавляют необходимое количество металлического олова, которое является стабилизирующей добавкой. Для удлинения службы раствора его необходимо хранить в темном месте. После обработки в растворе двухлористого олова модель в течение 1–2 мин промывают, причем только в дистиллированной воде, так как поверхность модели способна адсорбировать ионы, находящиеся в воде [1]. Обрабатываемая поверхность модели может считаться сенсibilизированной только тогда, когда на ее поверхности образуется сплошная адсорбционная пленка соединений олова, что можно установить по полной смачиваемости поверхности водой. При неполной смачиваемости поверхности водой процесс необходимо повторить со стадии обезжиривания.

Активация. После сенсibilизации модель переносят в раствор хлористого палладия, где под воздействием двухвалентного олова он восстанавливается до металлического палладия в соответствии с уравнением [2]



Образующийся коллоидный палладий является катализатором химического восстановления меди и никеля. Активацию сенсibilизированной поверхности проводят в течение 3–5 мин путем погружения модели в раствор комнатной температуры следующего состава:

Палладий двухлористый PdCl ₂ , г/л	0,5–1,0
Соляная кислота HCl (плотностью 1,19), мл/л . .	20–25

Необходимое количество двухлористого палладия растворяют в расчетном количестве соляной кислоты при нагревании до температуры 50–60 °С и затем объем раствора доводят до заданного уровня. После активации модель промывают в непроточной холодной воде. При достижении концентрации двухлористого палладия 0,1 г /л в промывочных водах последний используется для приготовления раствора активирования или для его корректировки. Корректировку раствора активации по двухлористому палладию проводят раз в 15 дней, а соляной кислоты — раз в 10 дней.

В настоящее время все чаще используют «совмещенный» раствор активации и сенсбилизации. Поверхность модели, обработанная в таком растворе, имеет пленку, состоящую из Pd⁰, PdCl, SnCl₂, которая при промывании в воде переходит в пленку, состоящую из коллоидного палладия. Состав такого раствора следующий:

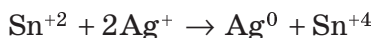
Двухлористый палладий PdCl ₂ , г/л	0,5–1,0
Двухлористое олово SnCl ₂ , г/л	40–45
Соляная кислота (пл. 1,19) HCl, г/л	70–75
Калий хлористый KCl, г/л	40–150
Температура <i>t</i> , °С	18–25

Активировать поверхность можно и в растворах азотнокислого серебра следующего состава: азотнокислое серебро — 10–30 г/л в 50%-ном спиртовом растворе или азотнокислое серебро — 10 г/л и 25%-ный аммиак (водный раствор) — 100 мл/л.

Химическая металлизация. В гальванопластике наиболее широко применяются пленки серебра и меди, полученные химическим восстановлением металла из растворов их солей, либо полупроводниковые пленки сульфидов меди и свинца. Преимущество процесса химического получения проводящего слоя состоит в возможности металлизации изделий сложного профиля (имеющих тонкие узкие

каналы и отверстия) с равномерной толщиной, что позволяет получить наиболее точные копии.

Получение пленок серебра. В основе процесса химического серебрения лежит реакция восстановления серебра из его соединений. В качестве восстановителя применяют глюкозу, пираголол, формальдегид, сегнетову соль и т. д. Химическое серебрение можно выполнять методами погружения, полива, а также аэрозольным методом. Необходимо помнить, что при серебрении активацию в растворе соли палладия не проводят, так как адсорбированные на поверхности модели соли двухвалентного олова восстанавливают ионы серебра:



Ниже приведены растворы, наиболее часто применяемые в гальванопластике:

Раствор А

Серебро азотнокислое AgNO_3 , г/л	2,5
Кали едкое KOH , г/л	2,5
Аммиак водный 33%-ный NH_4OH , г/л	До раствора рения осадка

Раствор Б

Глюкоза, г/л	2,5
------------------------	-----

Раствор А готовят следующим образом: расчетное количество азотнокислого серебра растворяют в 100–150 мл воды, добавляют расчетное количество едкого кали, предварительно растворенного в 50 мл воды, и по каплям вводят 33%-ный раствор аммиака до полного растворения выпавшего в осадок гидроксид. Полученный раствор доводят водой до 1 л. Для приготовления раствора Б расчетное количество глюкозы растворяют в кипящей воде, добавляют 2–3 капли серной кислоты, кипятят 3–5 мин и после остывания разбавляют водой до 1 л. Серебро осаждается на поверхности после смешивания двух растворов в соотношении А : Б = 1 : 1. Продолжительность осаждения при периодическом покачивании модели составляет 5–10 мин. При этом необходимо

помнить, что с увеличением концентрации азотно-кислого серебра скорость образования зеркальной пленки возрастает, а значение коэффициента использования серебра значительно снижается. С увеличением концентрации щелочи количество серебра на поверхности возрастает [2]. При повышении температуры скорость процесса увеличивается в несколько раз, но при этом ухудшается качество получаемой пленки, поэтому следует вести процесс при температуре не выше 10–12 °С.

Хорошо зарекомендовал себя процесс серебрения из следующих растворов:

Раствор А

Серебро азотнокислое AgNO_3 , г/л 4,0

Раствор Б

Пирогаллол марки А $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$, г/л 3,5

Лимонная кислота $\text{C}_{6\text{H}_8}\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, г/л 4,0

В одном объеме дистиллированной воды растворить азотнокислое серебро, в другом объеме — пирогаллол и лимонную кислоту. Приготовленные таким образом растворы охладить до температуры 10–15 °С. Затем непосредственно перед серебрением при перемешивании раствор Б вливают в раствор А по следующей схеме: раствор А залить прямо на модель, а потом, аккуратно перемешивая раствор моделью, разбавить его дистиллированной водой и влить раствор Б. Раствор А, раствор Б и дистиллированную воду рекомендуется брать в соотношении 1 : 1 : 1. Операцию химического серебрения необходимо проводить два раза. При повторном серебрении составляется раствор из дистиллированной воды, растворов А и Б и только потом погружается модель. Продолжительность процесса при периодическом покачивании модели составляет 5–10 мин и зависит от температуры раствора: чем ниже температура раствора серебрения, тем более длительно протекает процесс. При этом пленка серебра получается более плотной. Следует отметить, что только данный процесс позволяет получить качественную пленку из серебра на моделях из эластомеров.

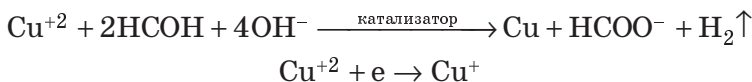
Химическое меднение. В силу пластичности меди медные покрытия легче переносят резкие температурные колебания при последующем осаждении рабочего слоя, поэтому процесс химического меднения нашел применение при изготовлении формообразующих элементов.

Процесс химического меднения производят в растворе следующего состава:

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	10–20
Калий, натрий виннокислый $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, г/л	50–60
Натр едкий NaOH , г/л	10–20
Никель двухлористый NiCl_2 , г/л	2,0–4,0
Натрий углекислый $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, г/л	2,0–4,0
Натрий серноватистокислый $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, г/л	0,1
Формалин 37 % H_2CO , мл/л	10–15

Расчетное количество сернокислой меди и двухлористого никеля надо растворить в половине необходимого количества дистиллированной воды. В другой половине растворить гидрат оксида натрия, калий, натрий виннокислый и углекислый натрий. Влить порциями при перемешивании раствор меди в щелочной раствор калия, натрия виннокислого. Добавить расчетное количество натрия серноватистокислого в виде раствора. Раствор отфильтровать, долить дистиллированной водой до необходимого объема. Значение рН раствора должно составлять от 12,6 до 12,8. Формалин добавлять в раствор за 10–15 мин до начала работы. Процесс происходит при температуре 20–25 °С.

В растворе химического меднения происходят следующие реакции:



При накоплении в растворе одновалентной меди в объеме происходит реакция $2\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu} + \text{Cu}^{+2}$, что приводит к саморазложению раствора. В этом случае раствор химического меднения следует заменить

новым раствором, предварительно извлекая сегнетову соль. Сделав анализ на содержание сегнетовой соли, добавляем расчетное количество сернокислой меди для того чтобы связать сегнетову соль в комплекс, потом подкисляем раствор до pH 3,0–3,5. При этом образуется виннокаменная соль $\text{Cu}(\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, которая выпадает в осадок и может быть использована для приготовления раствора химического меднения. В процессе химического меднения допускается замена калий, натрий виннокислого на калий, натрий винограднокислый.

В связи с тем, что процесс химического меднения связан со значительным выделением водорода, модель, погруженную в раствор, необходимо периодически встряхивать. Плотность загрузки в растворе — от 1,0 до 2,5 $\text{дм}^2/\text{л}$, а скорость осаждения химической меди колеблется от 0,8 до 1,0 $\text{мкм}/\text{ч}$. После химической металлизации модель в течение 1–2 мин промывают в холодной проточной воде и высушивают.

Свойства осадка меди, полученного из тартратного раствора [2], приведены ниже:

Напряжение в осадке (растяжение), ГПа	0,05–0,18
Твердость, ГПа	1,8–2,2
Удельное электрическое сопротивление, $\text{мкОм} \cdot \text{м}$	0,035–0,045

При наличии непокрытых мест, пузырей, шелушения или отслаивания покрытие удаляют в растворе следующего состава:

Хромовый ангидрид CrO_3 , г/л	200
Кислота серная (пл. 1,84) H_2SO_4 , г/л	10
Температура t , °C	20–25

Нанесение полупроводниковых пленок. В связи с необходимостью экономии драгоценных металлов широкое применение получил сорбционный способ нанесения токопроводящего слоя. Сущность его состоит в операции сорбции неорганических веществ поверхностью полимера и преобразования их в кислоторастворимые соединения под действием сульфидирующих агентов. Преимущественное осаждение

сульфида металла на покрываемой поверхности, а не в объеме раствора достигается за счет предварительной подготовки поверхности модели. Рассмотрим процесс нанесения сульфидных пленок свинца и меди.

Нанесение пленки сульфида свинца осуществляется из раствора следующего состава:

Свинец азотнокислый $Pb(NO_3)_2$ (концентрат 90 г/л), мл/л	50
Кали едкое KOH, г/л	4–5
Тиомочевина NH_2CSNH_2 (концентрат 78 г/л), мл/л	30
Температура t , °С	50–60

Отдельно в объеме дистиллированной воды готовят раствор азотнокислого свинца концентрацией 90 г/л и раствор тиомочевины концентрацией 78 г/л. Затем берем необходимый объем воды (из расчета 1 л воды на 1 дм² покрываемой поверхности), нагреваем до температуры 60–70 °С и растворяем в нем расчетное количество едкого кали, после чего добавляем необходимое количество концентрата азотнокислого свинца из расчета 50 мл/л. Опускаем модель и добавляем концентрат тиомочевины из расчета 30 мл/л. Раствор тщательно перемешиваем до тех пор, пока цвет раствора из молочного не станет черным, и оставляем на 20–30 мин. Затем промываем модель в горячей проточной воде. При наличии непокрытых мест операцию следует повторить. Недостатками данного способа являются повышенная температура, которая затрудняет металлизацию моделей из диэлектрика с точно заданными размерами, и невозможность использовать раствор повторно.

Эти недостатки устраняются при использовании в качестве токопроводящего слоя сульфида меди. Этот способ обладает рядом достоинств: небольшая по времени продолжительность процесса, сравнительно высокая стабильность применяемых растворов, невысокая стоимость и доступность химикатов. Технология нанесения сульфида меди заключается в по-

следовательной обработке поверхности раствором соли металла, водой и раствором сульфидирующего агента. Адсорбция на поверхности продуктов гидролиза соли происходит на стадии промывки водой.

Последовательность нанесения токопроводящей пленки сульфида меди следующая:

1-й раствор

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	10–100
Цинк сернокислый $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, г/л	50–100
Аммиак водный 33% -ный NH_4OH , мл/л	150–200
pH	8,5–9,5
Температура t , °C	18–25
Время, мин	0,1–0,2

2-й раствор:

Вода дистиллированная	
pH	7,0
Время, мин	0,1–0,2

3-й раствор:

Сульфид натрия Na_2S , г/л	10–50
Температура t , °C	18–25
Время, мин	0,1–0,5

4-й раствор:

Вода дистиллированная	
pH	7,0
Время, мин	0,1–0,2

Поверхность модели обрабатывается последовательно в каждом растворе 10–15 раз. Полученная пленка сульфида меди имеет поверхностное электрическое сопротивление 10^3 – 10^4 Ом и толщину порядка 0,2–0,5 мкм.

Нанесение первичного слоя из электрических ванн.

После нанесения на поверхность модели токопроводящего слоя методом химического меднения или серебрения необходимо произвести операцию затяжки — нанесения первичного покрытия. Необходимость нанесения первичного покрытия вызвана тем, что на модель, покрытую токопроводящим слоем меди или серебра, нельзя наращивать металл в кислых электролитах с перемешиванием и подогревом, так как токопроводящий слой разрушается раньше, чем мо-

дель успеет покрыться металлом. Поэтому затяжку производят в слабокислом электролите меднения при низких значениях плотности тока, что обеспечивает эластичность осаждаемого металла.

Ниже приведены состав электролита и режимы осаждения:

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	140–160
Кислота серная H_2SO_4 , г/л	10–15
Спирт этиловый $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, г/л	20–30
Температура t , °C	18–25
Время осаждения, мин	15–30
Катодная плотность тока D_k , А/дм ²	0,5–2,0

Модель завешивают в гальваническую ванну под током при катодной плотности 0,5 А/дм² с постепенным увеличением значения катодной плотности тока до расчетной. При этом необходимо следить, чтобы в углублениях не оставалось пузырьков воздуха, препятствующих осаждению металла. Скорость осаждения в данном электролите при плотности тока 1 А/дм² составляет 2–3 мкм/ч.

1.5. НАНЕСЕНИЕ РАБОЧЕГО СЛОЯ ИЗ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ВАНН

Для формирования рабочего слоя наибольшее распространение получил сульфаматный электролит никель—кобальт. Это объясняется тем, что в данном электролите можно вести процесс при больших значениях плотности тока, а получаемые осадки имеют небольшие внутренние напряжения и обладают высокой твердостью. Осадки, полученные из сульфаматного электролита, имеют мелкозернистую структуру, они гладкие и эластичные. Скорость осаждения сплава никель-кобальт из сульфаматного электролита составляет 10–12 мкм в час при плотности тока 1 А/дм².

Ниже приведен состав сульфаматного электролита никель—кобальт:

Никель сульфаминовокислый $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л	300–350
Кобальт сульфаминовокислый $\text{Co}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л	20–25
Никель хлористый NiCl_2 , г/л	3,0–5,0
Борная кислота H_3BO_3 , г/л	25–30
Сахарин $\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$, г/л	0,1–1,0
Додецилсульфат натрия, г/л	0,1–1,0
pH, г/л	3,0–4,0
Температура t , °C	45–55
Катодная плотность тока D_k , А/дм ²	1,0–5,0

Сульфаминовокислый никель выпускается в виде соли марки «Чистый», а также в виде 55% -ного раствора. Сульфаминовокислый кобальт также выпускается в виде соли либо в виде 60% -ного водного раствора. В производстве удобнее использовать растворы сульфаминовокислого никеля и кобальта, так как они содержат минимальное количество примесей — хлоридов, ионов меди, железа — и обеспечивают получение гальванопластических осадков с минимальными внутренними напряжениями. Если для приготовления электролита используют сульфаминовокислый никель и кобальт марки «Чистый», то раствор необходимо подвергнуть тщательной обработке перекисью водорода и проработке постоянным током. При этом следует учитывать, что в процессе приготовления и проработки электролита суммарные потери по никелю и кобальту составляют 15–20 % вследствие сильного загрязнения используемых солей. Вторым основным компонентом в сульфаминовокислом электролите является борная кислота, выполняющая функции буферной добавки. При концентрации борной кислоты в пределах 30–35 г/л сульфаминовокислый электролит не может работать при температуре ниже 35 °C вследствие ее способности выкристаллизовываться из раствора. В том случае, если температура электролита должна составлять 30–35 °C, концентрацию борной кислоты необходимо снизить до 11–20 г/л. Присутствие ионов хлора в сульфаминовокислом электролите необходимо для предотвращения пассивации анодов. Считается, что содержание хлористых солей в сульфа-

миновокислом электролите не должна превышать 3–5 г/л, так как увеличение концентрации данных солей приводит к значительному повышению внутренних напряжений. Для устранения питтингообразования в сульфаминовокислый электролит вводят поверхностно-активные вещества, снижающие его поверхностное натяжение. Уменьшение поверхностного натяжения способствует более быстрому отрыву пузырьков водорода от поверхности катода, что и предотвращает образование питтинга. В качестве антипиттинговой добавки используют додецилсульфат натрия или лаурилсульфат натрия. Для повышения механической прочности, увеличения твердости и одновременного снижения внутренних напряжений в осадке в электролит вводят сахарин.

Оптимальная температура электролита составляет 50 °С. Понижение температуры электролита ниже 45 °С может привести к появлению питтинга, а повышение ее выше 60 °С приводит к возрастанию скорости гидролиза сульфамата никеля. Оптимальное значение рН сульфаматного электролита составляет 3,5. Значение рН менее 3,5 снижает выход по току и увеличивает вероятность появления питтинга. Значение рН более 4,0 способствует образованию основных солей никеля и кобальта, которые приводят к шероховатости осадка. Из приведенного электролита осаждаются осадки, содержащие 20 % кобальта.

Физико-механические свойства осадков сплава никель—кобальт приведены ниже:

Микротвердость, МПа	3000–5000
Предел прочности, МПа	800–1500
Относительное удлинение, %	1,5–4,5
Внутренние напряжения, МПа	30–140

В связи с тем, что сульфаматный электролит очень чувствителен к различным загрязнениям, большое внимание следует уделять качеству используемых анодов. Лучше всего использовать никелевые аноды марки НПАН, которые практически не дают шлама и тем самым не загрязняют электролит. Перед заве-

шиванием анодов в ванну их необходимо отпескоструить, протравить в 50% -ном растворе азотной кислоты и надеть на них бязевые чехлы.

Приготовление сульфаминовокислого электролита осаждения сплава никель—кобальт. Расчетные количества хлористого никеля и борной кислоты растворить в отдельных объемах дистиллированной воды при температуре 60–70 °С. Растворы декантировать в рабочую ванну, ввести расчетное количество концентрированных растворов сульфамата никеля и сульфамата кобальта. Полученный электролит тщательно перемешать и определить значение рН. Для повышения рН в электролит при интенсивном перемешивании добавить водную суспензию углекислого никеля или проработать электролит при повышенных значениях плотности тока 7–10 А/дм². Для уменьшения значения рН на 0,1 добавляют сульфаминовую кислоту из расчета 0,05 г/л кислоты. После приготовления электролит подвергается химической и селективной очистке. Химическая очистка заключается в добавлении к электролиту, нагретому до температуры 50–55 °С, при интенсивном перемешивании 30% -ной перекиси водорода из расчета 3,0 мл/л и активированного угля из расчета 10 г/л (активированный уголь перед загрузкой

Т а б л и ц а 1.4

**Способы устранения дефектов при осаждении сплава
никель—кобальт**

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Неполное покрытие по токопроводящему слою	Токопроводящий слой отсутствует либо слишком тонок на отдельных участках поверхности модели	Провести повторную металлизацию и затяжку модели. Снизить начальную плотность тока
Появление черных или серых пятен или общее почернение покрытия	Электролит загрязнен металлическими или органическими примесями	Провести химическую и селективную очистку электролита

Продолжение табл. 1.4

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Значительный рост дендритов, шероховатость покрытия	<p>Электролит загрязнен взвешенным анодным шламом.</p> <p>Завышена плотность тока.</p> <p>Большое содержание железа</p>	<p>Отфильтровать электролит и проверить анодные чехлы.</p> <p>Отрегулировать значения плотности тока.</p> <p>Электролит нагреть до 60 °С, добавить 1 г/л перманганата калия и выдержать 4 ч при непрерывном перемешивании. Железо выпадает в осадок в виде Fe(OH)₃. Осадку дать отстояться и электролит отфильтровать. Провести селективную очистку электролита</p>
Наличие хрупких осадков	<p>Наличие в электролите органических соединений.</p> <p>Повышенное содержание железа в электролите.</p> <p>Повышенное значение рН электролита</p>	<p>Провести химическую и селективную очистку электролита.</p> <p>То же.</p> <p>Откорректировать значение рН электролита до оптимального</p>
Скорость осаждения металла ниже расчетного значения	<p>Низкая концентрация металла в электролите.</p> <p>Занижена температура электролита.</p> <p>Занижено значение плотности тока.</p> <p>Запассивировались аноды.</p>	<p>Откорректировать электролит по данным химического анализа.</p> <p>Повысить температуру электролита до оптимального значения.</p> <p>Повысить плотность тока до расчетных значений.</p> <p>Откорректировать электролит на содержание двуххлористого никеля.</p>

Продолжение табл. 1.4

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Скорость осаждения металла ниже расчетного значения	Большое падение напряжения в местах контактов. Занижено значение рН электролита	Зачистить контакты. Откорректировать значение рН электролита до оптимального
Появление коричневой или черной пленки на анодах	Мала площадь анодов.	Зачистить аноды. Увеличить площадь анодов (отношение анодной поверхности к катодной — 2:1).
	Малая концентрация двухлористого никеля	Добавить двухлористый никель по результатам анализа
Покрытие имеет нормальный оттенок, но отслаивается	Некачественная подготовка поверхности.	Улучшить подготовку поверхности.
	Повышенные внутренние напряжения	Провести химическую и селективную очистку электролита. Добавить сахарин по результатам химического анализа
Отсутствует сцепление между отдельными слоями осадка	Перерыв в подаче тока	Устранить возможность перерыва в подаче тока в процесс осаждения
Наличие питтинга по всей поверхности	Недостаточное содержание лаурилсульфата натрия.	Довести содержание лаурилсульфата натрия до оптимального.
	Недостаточная интенсивность перемешивания электролита.	Увеличить скорость покачивания катодной штанги.
	Наличие органических загрязнений в электролите.	Провести химическую и селективную очистку электролита.
	Завышенные значения плотности тока.	Снизить значение плотности тока до оптимального.

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Наличие питтинга по всей поверхности	Заниженная концентрация борной кислоты.	Откорректировать электролит по борной кислоте до оптимальных значений.
	Высокая кислотность электролита	Откорректировать значение pH суспензией углекислого никеля до оптимальных значений или проработать электролит при повышенных значениях плотности тока

в электролит необходимо обработать в 10% -ном растворе соляной кислоты), при этом значение pH электролита должно составлять 3,5–4,0. Электролит обрабатывается в течение 24 ч и отфильтровывается. Селективная очистка заключается в проработке электролита при значениях pH 3,0–3,5 и плотности тока 0,1–0,5 А/дм² на гофрированном катоде, изготовленном из никеля или коррозионно-стойкой стали. Селективную очистку необходимо производить не менее 24 ч, после чего в электролит вводят расчетное количество лаурилсульфата натрия и сахарина. Кислотность раствора доводят до рабочего состояния [3].

Основные неполадки при осаждении сплава никель—кобальт приведены в табл. 1.4.

1.6. ОСАЖДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДСЛОЯ

Рабочий никель-кобальтовый слой непосредственно после наращивания представляет собой тонкостенную оболочку, внутри которой и заключена модель. Если провести соответствующую обработку и извлечь модель, то элемент оболочки с формообразующим рельефом не может служить в качестве матрицы пресс-формы. Для того чтобы нарощенная

оболочка была работоспособной, ее толщина должна быть не менее 3,5–5,0 мм. С этой целью на рабочий слой наносят конструкционный слой, необходимый для увеличения жесткости рабочего слоя и предотвращения его деформации после извлечения модели, а также для формирования основных габаритных размеров матрицы или вставок. Конструкционный слой может формироваться несколькими способами:

- гальванопластическим наращиванием слоя меди;
- заливкой или пропиткой эпоксидными компаундами;
- заливкой металла;
- напылением.

Создание конструкционного слоя путем гальванопластического наращивания меди. Для создания конструкционного слоя из меди чаще всего используют электролит сернокислого меднения, так как он прост по составу, стабилен, имеет хорошую электропроводность.

Ниже приведены состав электролита и режимы осаждения:

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	.....	200–250
Кислота серная H_2SO_4 , г/л	.....	50–70
Спирт этиловый $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, мл/л	.....	10–30
Температура t , °С	.....	18–25
Катодная плотность тока, А/дм ²		
без перемешивания	.....	1,0–2,0
с перемешиванием	.....	3,0–5,0

В процессе электроосаждения необходима непрерывная или периодическая фильтрация электролита.

Снижение температуры электролита ниже 15 °С приводит к осаждению крупнокристаллических осадков и солевой пассивации анодов. При повышении температуры выше 40 °С наблюдается образование грубых крупнокристаллических осадков. Для обеспечения хорошего сцепления между рабочим слоем сплава никель—кобальт и конструкционным слоем меди необходимо модель завешивать в электролит

меднения под током без промежуточной промывки из-за быстрой пассивации никель-кобальтового слоя. При наращивании толстых слоев меди часто бывает необходимым выполнять промежуточную механическую обработку осадков, целью которой является удаление дендритов. После механической обработки, перед проведением дальнейшего наращивания, необходимо модель с осадком протравить в концентрированной азотной кислоте в течение 3–5 с с последующей промывкой в воде.

Сульфатные электролиты, хотя и отличаются стабильностью при эксплуатации, однако чрезвычайно чувствительны к различным органическим примесям. В связи с этим необходимо не реже одного раза в месяц производить химическую и селективную очистку электролита.

Основные дефекты, возникающие при осаждении медных осадков из сульфатного электролита, приведены в табл. 1.5.

Изготовление конструкционного слоя металлизированного формообразующего элемента методом заливки полимерной композиции. При изготовлении формообразующего элемента для литья под давлением сложных деталей из термопластов формирование конструкционного слоя можно производить эпоксидными композициями холодного отверждения. При этом количество отливаемых деталей может составить до 25 000 шт. Наиболее распространенными являются композиции, состоящие из эпоксидной смолы ЭД-20. Аналогами этой смолы являются смолы марок ЭД-22, ЭД-128.

Технология заливки следующая: модель с электролитическим осадком устанавливают и закрепляют на подмодельной плите. Зазоры между моделью и подмодельной плитой замазывают уплотнительной замазкой ТГ-18 либо замазкой, состоящей из бутакрила порошка (100 вес. ч.) и бутакрила жидкости (50 вес. ч.). Оба компонента перемешивают до образования однородной массы в течение 3 мин. Замазку приготавливают непосредственно перед употреблением.

Т а б л и ц а 1.5

Способы устранения дефектов, возникающих в электролите

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Появление пригорелых мест и дендритов на выступах моделей	Высокая плотность тока	Снизить плотность тока
В пазах и углублениях моделей наличие крупнокристаллического рыхлого осадка	Низкая концентрация серной кислоты. Низкая катодная плотность тока	Повысить концентрацию серной кислоты. Повысить плотность тока на катоде
Наличие рыхлого и губчатого осадка меди и значительное выделение водорода на катоде	Большой избыток серной кислоты при низкой концентрации серно-кислой меди	Откорректировать электролит по серной кислоте и серно-кислой меди
Появление блестящих полос на покрытии. Рост игольчатых дендритов, темный осадок	Загрязнение электролита органическими примесями	Нагреть электролит до температуры 45–50 °С и добавить 30%-ную перекись водорода из расчета 3 мл/л. При непрерывном перемешивании выдержать 24 ч. Затем электролит отфильтровать через угольную ткань. Провести селективную очистку
Появление черных и коричневых полос на слое осажденной меди	Загрязнение электролита примесями тяжелых металлов, железа	Проработать электролит при повышенной плотности тока (4–5 А/дм ²)
Появление осадка темно-красного цвета; крупнокристаллическая структура меди	Очень высокая концентрация серно-кислой меди	Разбавить электролит водой до оптимальной концентрации серно-кислой меди
Кристаллизация серно-кислой меди на анодах и на дне ванны	Низкая температура электролита	Нагреть электролит до температуры 20–25 °С

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Грубая, шероховатая поверхность меди	Загрязнение электролита механическими примесями	Отфильтровать электролит и проверить анодные чехлы
При нормальном осадке наличие дендритообразования на выступах	Недостаток этилового спирта в электролите	Добавить в электролит спирт из расчета 2,5–5,0 мл/л

Срок использования замазки при температуре от 15 до 20 °С — не более 10 мин. На поверхность подмодельной плиты и опоки наносят тампоном из вискозного полотна разделительный слой из кремний-органической пасты КПД. Устанавливают опоку и заделывают зазоры между опокой и подмодельной плитой. Одновременно с этим готовят эпоксидную композицию холодного отверждения, включающую в себя эпоксидную смолу ЭД-20 (100 масс. ч.), полиэтиленполиамин марки А (15 масс. ч.), порошок железный ПЖМ (250–350 масс. ч.), либо композицию горячего отверждения, состоящую из смолы эпоксидной ЭД-20 (100 масс. ч.), ангидрида малеинового (49 масс. ч.), ускорителя УП-606/2 (0,5 масс. ч.), порошка железного ПЖМ (600 масс. ч.). В эпоксидную смолу добавляют половинную норму железного порошка, предварительно просушенного при температуре 70–80 °С. Смесь тщательно перемешивают. Не переставая перемешивать, вводят расчетное количество отвердителя и добавляют оставшееся количество железного порошка. Полученную композицию медленно заливают по стенкам опоки на модель. После этого производят вибрацию на виброплощадке в течение 5–10 мин при амплитуде 0,05 мм и частоте 2800 Гц. Далее осуществляют отверждение эпоксидной композиции в термошкафу:

- композиция холодного отверждения:
 - 20 °С — до желирования;
 - 40 ± 5 °С — 1 ч;

60 ± 5 °С — 1 ч;
 80 ± 5 °С — 1 ч;
 100 ± 5 °С — 1 ч;
 120 ± 5 °С — 10 ч;

— композиция горячего отверждения:

80 °С — 2 часа
 80 ± 5 °С — 1 ч;
 100 ± 5 °С — 2 ч;
 120 ± 5 °С — 2 ч;
 140 ± 5 °С — 1 ч;
 200 ± 5 °С — 1 ч;
 220 ± 5 °С — 8 ч.

Охлаждение композиции до комнатной температуры осуществляется также в термошкафу. Следующий этап — контроль качества поверхности отвержденного формообразующего элемента с помощью лупы четырехкратного увеличения. Отвержденная пластмассовая композиция не должна иметь на поверхности сколов и раковин, различимых при четырехкратном увеличении. Готовый формообразующий элемент поступает на механический участок для дальнейшей обработки и вскрытия.

Свойства пластмассовых композиций приведены в табл. 1.6.

В ряде случаев конструкционный слой можно формировать из синтеграла. Данный материал был разработан в ЭНИИМСе и представляет собой композицию из эпоксидной смолы и гранитной крошки. Готовится данная композиция следующим образом: эпоксидную смолу ЭД-22 в количестве 63 г смешивают с 9,5 г разбавителя УП-624 и подогревают смесь до температуры 50 °С. Затем к смеси при температуре 30–40 °С добавляют 130 г диабазовой муки, 17,5 г отвердителя УП-063И и тщательно перемешивают. После этого в смесь вводят предварительно перемешанную сухую смесь, состоящую из 200 г гранитной муки фракцией $\leq 0,63$ мм и 580 г гранитной крошки размером 3–5 мм. Заполняют форму, подготовленную, как описано выше, и уплотняют композицию методом вибрации или притрамбовки. Через 24 ч форму

Основные свойства пластмассовых композиций

Компоненты композиций	Состав, масс. ч.	Плотность, 10^3 кг/м^3	Линейная усадка, %	Температура стеклования, °С	Коэффициент теплового линейного расширения ниже температуры стеклования $\times 10^{-5}$, 1/град	Модуль упругости при сжатии $\times 10^2$, МПа	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа
Смола эпоксидная ЭД-20	100							
Ангидрид малеиновый	49							
Ускоритель УП-606/2	0,5	3,2	0,9	150	3,7	70	335	190
Порошок железный ПЖМ	600							
Смола эпоксидная ЭД-20	100							
Полиэтиленполиамины марки А	15	2,5	0,35	135	5,2	32	240	120
Порошок железный ПЖМ	300							

разбирают. Формообразующие элементы, залитые синтегралом, шлифуются алмазными кругами.

Ниже приводятся технические характеристики синтеграла:

Удельная масса, г/см ³	2,4–2,7
Кратковременная прочность, МПа:	
при сжатии	120–160
» растяжении	10–25
» изгибе	17–35
Удельная ударная вязкость, Дж/см ²	0,35–0,45
Влагопоглощение за 24 ч, %	0,02–0,05
Линейная усадка, %	0,015–0,05
Теплостойкость, кДж/кг	0,9–1,0

Изготовление конструкционного слоя металлизированного формообразующего элемента пропиткой полимерной композиции. Метод пропитки применяется в тех случаях, когда надо отлить свыше 50 000 шт. пластмассовых изделий. Устанавливают модель с гальваническим осадком на подмодельную плиту и заделывают зазор между моделью и подмодельной плитой уплотнительной замазкой ТГ-18 или любой другой теплостойкой замазкой. Далее на поверхность подмодельной плиты и опоки с помощью кисти наносят разделительный состав из эпилама. Устанавливают опоку и заделывают зазор между опокой и подмодельной плитой. Засыпают наполнитель — железный порошок ПЖМ, предварительно просушенный при температуре 120–130 °С в течение 2–3 ч, и уплотняют наполнитель при комнатной температуре в течение 5–10 мин на виброплощадке, при амплитуде 0,05 мм и частоте 2800 Гц (допускается уплотнение наполнителя другими способами). Затем помещают модель с электролитическим осадком и уплотненным наполнителем в пропиточную камеру и вакуумируют при давлении 0,13 Па при температуре 45–120 °С в течение 60–180 мин. Температура и продолжительность вакуумирования зависят от температуры и переработки связующего. После этого в смеситель заливают связующее и вакуумируют его при давлении 0,13 Па при темпера-

Таблица 1.7

Технологические свойства пропиточных композиций

Компоненты композиции	Со- став, масс. ч.	Режим отвержде- ния		Условная вязкость связующего		Жизне- способность связующего	
		Тем- пера- тура, °С	Вре- мя, ч	Темпе- ратура перера- ботки, °С	Время по ВЗ-4, с	Тем- пера- тура, °С	Время, мин, не менее
Смола эпоксид- ная УП-632	80	100	3				
Смола эпоксид- ная ЭД-22	20	120	2				
Изометилтет- рагидрофталие- вый ангидрид	80	140	2	100	14	120	90
Порошок же- лезный ПЖМ	400	160 180 200	2 2 9				
Смола эпоксид- ная УП-650Т	100	100	2				
Отвердитель УП-605/Зр	4	110	3		65	100	105
Порошок же- лезный ПЖМ	350	140 170	5 5				
Смола эпоксид- ная УП-632	80	80	3	45			
Смола эпоксид- ная ЭД-22	20	110	3				
Отвердитель УП-605/Зр	8	140	5		50	80	120
Порошок же- лезный ПЖМ	500	170	5				
Одноупаковоч- ное связующее УП-503 марки А (на основе диановой эпок- сидной смолы и кислотного катализатора)	100	160 200	6 6	100	36	160	300

Продолжение табл. 1.7

Компоненты композиции	Состав, масс. ч.	Режим отверждения		Условная вязкость связующего		Жизнеспособность связующего	
		Температура, °С	Время, ч	Температура переработки, °С	Время по ВЗ-4, с	Температура, °С	Время, мин, не менее
Порошок железный ПЖМ	600	200	6	100	36	160	300
Примечания: 1. Во всех случаях допускается замена эпоксидной смолы марки ЭД-22 на марку ЭД-20. 2. По порошку железному ПЖМ приведены средние значения.							

туре 45–120 °С в течение 10–30 мин. Вакуумировать связующее необходимо до прекращения образования пены на поверхности последнего. Затем пропитывают связующим наполнитель при давлении 0,13 Па и температуре 45–120 °С в течение 30–60 мин. Вакуумировать необходимо до прекращения образования пузырьков на поверхности раздела фаз «связующее — наполнитель». Затем создают в пропиточной камере избыточное давление 290 Па при температуре 45–120 °С в течение 50 мин. Снимают избыточное давление в пропиточной камере до атмосферного, извлекают оснастку из установки и помещают ее в сушильный шкаф для отверждения. Охлаждение формообразующего элемента осуществляют, не вынимая оснастку из сушильного шкафа.

Состав пропиточных композиций, режимы отверждения, технологические свойства приведены в табл. 1.7.

Технологические свойства пластмассовых композиций приведены в табл. 1.8.

Изготовление конструкционного слоя металлизированного формообразующего элемента методом заливки металла. Для заливки гальванопластических осадков применяют сплавы с низкой температурой плавления, к которым относятся сплавы на основе

Технологические свойства пластмассовых композиций

Компоненты композиции	Состав, масс. ч.	Плотность, 10^3 кг/м ³	Линейная усадка, %	Температура стеклования, °С	Коэффициент теплового линейного расширения ниже температуры стеклования $\times 10^{-5}$, 1/град	Модуль упругости при сжатии $\times 10^2$, МПа	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа
Смола эпоксидная УП-632	80							
Смола эпоксидная ЭД-22	20							
Изогетилтетрагидрофталиевый ангидрид	80	3,7	0,75	160	4,1	132	412	198
Порошок железный ПЖМ	400							
Смола эпоксидная УП-650Г	100							
Отвердитель УП-605/Зр	4	3,7	0,30	190	5,1	110,1	363	202
Порошок железный ПЖМ	350							

Продолжение табл. 1.8

Компоненты композиции	Состав, масс. ч.	Плотность, 10^3 кг/м ³	Линейная усадка, %	Температура стеклования дилатометрическая, °С	Коэффициент теплового линейного расширения ниже температуры стеклования $\times 10^{-5}$, 1/град	Модуль упругости при сжатии $\times 10^2$, МПа	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа
Смола эпоксидная УП-632	80							
Смола эпоксидная ЭД-22	20							
Отвердитель УП-605/Зр	8	3,2	0,28	188	3,8	88,6	412	209
Порошок железный ПЖМ	500							
Одноупаковочное связующее УП-503 марки А (на основе диановой эпоксидной смолы и кислотного катализатора)	100							
Порошок железный ПЖМ	600	3,2	1,02	128	4,2	131	328	197

цинка. Температура плавления снижается на 20 % за счет добавления к цинку олова или припоя марки ПОС-61. Перед заливкой на гальванопластическую корку наносят сплав олово—висмут гальваническим способом либо обрабатывают ее раствором концентрированной азотной кислоты, промывают водой и нагревают до температуры 90 °С, после чего обрабатывают раствором канифоли в этаноле в соотношении 1:5. На подмодельной плите устанавливают модель с гальванопластическим осадком и опоку. Зазор между подмодельной плитой, моделью и опокой заделывают асбестовым шнуром. Далее вся конструкция помещается в печь и нагревается до температуры 300 °С, одновременно с этим в тигле расплавляют расчетное количество цинка и олова при температуре 400 °С. Нагретую конструкцию заливают расплавленным сплавом методом свободной заливки и охлаждают при комнатной температуре. Пример оснастки для заливки гальванопластического осадка металлом представлен на рис. 1.3. До-

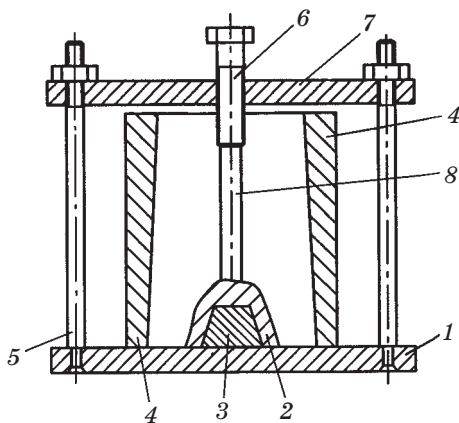


Рис. 1.3. Оснастка для заливки гальванопластического осадка металлом:

1 — подмодельная плита; 2 — гальванический осадок; 3 — модель; 4 — опока с углом 1,5–2°; 5 — крепежные шпильки; 6 — винт для крепления гальванического осадка; 7 — крепежная планка; 8 — ось для крепления и центровки гальванического осадка

ливка сплава нежелательна. Затем разбирают конструкцию, после чего залитый осадок подвергают механической обработке.

Изготовление конструкционного слоя металлизированного формообразующего элемента методом напыления. Технология нанесения металлов и сплавов на поверхность металлизированного формообразующего элемента пресс-форм основана на газодинамическом методе нанесения покрытия.

Метод разработан на основе открытого в 1980-х гг. эффекта закрепления на поверхности при соударении с ней твердых частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью. Технология нанесения конструкционного слоя включает в себя нагрев сжатого газа (воздуха), подачу его в сверхзвуковое сопло и формирование в этом сопле сверхзвукового воздушного потока, подачу в этот поток порошкового материала, ускорение этого материала в сопле сверхзвуковым потоком воздуха и направление его на поверхность обрабатываемого изделия.

В качестве порошковых материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. При этом путем изменения режимов работы оборудования можно наносить металлические покрытия требуемых составов, а также менять пористость и толщину напыляемого покрытия. В наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий для формирования покрытий из потока частиц необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. В газодинамической технологии напыления (которую на практике называют «наращиванием» металла) это условие не является обязательным, так как с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, обладающие большой кинетической энергией, вследствие чего закрепление твердых металлических частиц на поверхности подложки происходит в процессе высокоскоростного удара. Полу-

чаемое покрытие представляет собой однородный металлический слой (в случае чисто металлических покрытий, создаваемых из одного металла) или металлический слой, структурированный частицами другого металла или керамики.

При использовании газодинамического метода не требуется подогрева покрываемого изделия, а покрытия наносятся в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха, что исключает изменение геометрических размеров формообразующего элемента пресс-формы за счет ее деформации. При нанесении покрытия тепловое воздействие на покрываемое изделие незначительно, оно не влияет на структуру и свойства моделей из диэлектрических материалов. Перед напылением не требуется тщательной подготовки поверхности формообразующего элемента, так как при воздействии высокоскоростного потока частиц происходят очистка поверхности от технических загрязнений и активация кристаллической решетки материала. Поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение, что позволяет наносить покрытия сначала на локальные участки формообразующего элемента, а затем полностью формировать конструкционный слой.

Конструкционные покрытия обладают следующими свойствами:

- высокими адгезией (30–100 МПа) и когезией (30–100 МПа);

- однородностью;

- низкой пористостью (1–3 %);

- плотным соединением с основой — без зазоров и полостей;

- шероховатость поверхности покрытий составляет $R_z = 20 \div 40$;

- толщина покрытия может быть любой и обеспечивается технологическим режимом нанесения;

- могут обрабатываться всеми известными способами механообработки;

— при специальной термообработке некоторые покрытия могут приобретать дополнительные или новые свойства;

— могут наноситься на поверхности изделий из любых металлов.

1.7. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ В ОБОЙМУ ПРЕСС-ФОРМ

Перед установкой в обойму пресс-форм формообразующий элемент подвергается механической обработке. Для этого на токарном или фрезерном станке, в зависимости от конфигурации посадочной части формообразующего элемента, создают базовые поверхности. Используемый инструмент: резец проходной марки Р18, Р6, М5, ВК-8 или фреза цилиндрическая Т5К10. Используются следующие режимы резания [3]:

— для формообразующих элементов, конструкционный слой которых представляет металлополимерную композицию:

Глубина резания, мм	0,02–0,05
Подача, мм/об	0,2–0,6
Скорость, м/мин	300–500

— для формообразующих элементов, конструкционный слой которых состоит из металла:

Глубина резания, мм	0,1–0,2
Подача, мм/об	0,1
Скорость, м/мин	2100–3000

Во всех случаях охлаждающей средой является СОЖ типа «Линол» или сжатый воздух.

После создания базовых поверхностей производят подрезку плоскости разъема модели с осадком до материала модели. Затем модель извлекают (предварительно охладив формообразующий элемент с моделью из полимерных материалов при температуре

от +5 до 0 °С в течение 1 ч) на ручном винтовом или рычажном прессе с применением разгрузочных приспособлений (рис. 1.4).

После извлечения модели обрабатывают наружную поверхность формообразующего элемента (посадочную часть), которая определяется конструкцией модели. Установка гальванопластического элемента в обойму должна производиться по посадке $\frac{H7}{js6}$.

Форма посадочной части определяется конфигурацией формообразующей поверхности и выбирается круглой, прямоугольной или другой упрощенной формы, при этом толщина стенок формообразующего элемента должна быть не менее 3,0 мм. Если модель имеет значительные перепады по высоте рельефа, то их можно компенсировать на конструкционном слое вставками из инструментальной стали, которые устанавливают на обработанный гальванопластический осадок по посадке $\frac{H7}{js6}$. Для увеличе-

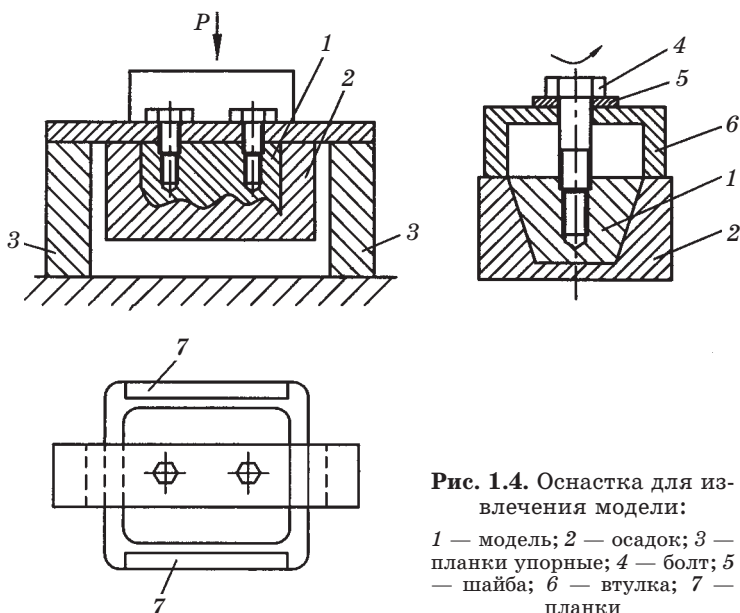
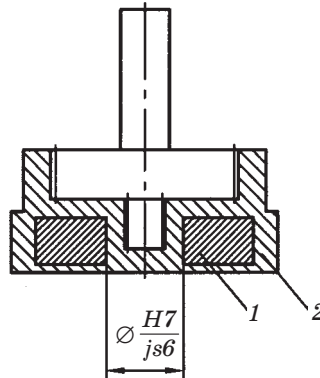


Рис. 1.4. Оснастка для извлечения модели:

- 1 — модель; 2 — осадок; 3 — планки упорные; 4 — болт; 5 — шайба; 6 — втулка; 7 — планки

Рис. 1.5. Технологические вставки:

1 — вставка; 2 — гальванопластический формообразующий элемент



ния адгезии уже наращенного слоя к последующему его подвергают пескоструйной или гидроабразивной обработке (рис. 1.5).

Крепление гальванопластических формообразующих элементов в обойму осуществляется различными способами в зависимости от формы модели:

— для цилиндрических деталей может быть использовано крепление через переходную втулку (рис. 1.6, а);

— крепление плоских элементов может быть осуществлено с помощью вставок, выполненных по типу «ласточкина хвоста» (рис. 1.6, б).

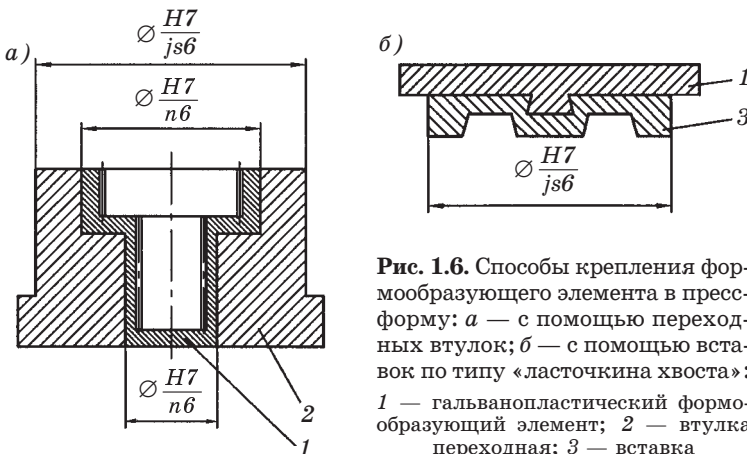


Рис. 1.6. Способы крепления формообразующего элемента в пресс-форму: а — с помощью переходных втулок; б — с помощью вставок по типу «ласточкина хвоста»: 1 — гальванопластический формообразующий элемент; 2 — втулка переходная; 3 — вставка

Далее на шлифовальном станке убирают технологический припуск на формообразующем элементе по высоте. Используемый инструмент: высокопористые абразивные круги на керамической связке зернистостью 16 и 25 мкм, твердостью СМ1, СМ2. Режимы резания: глубина резания — от 0,01 до 0,1 мм; скорость вращения круга — от 30 до 35 м/с; скорость детали — от 15 до 20 м/мин; удельное давление прижима формообразующего элемента к кругу — от 0,05 до 0,15 МПа. Охлаждающей средой является СОЖ. Затем производится контроль качества изготовления формообразующего элемента.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

2.1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ НАРУЖНОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА

При изготовлении тонкостенных полых изделий с переменной кривизной поверхности путем наружного осаждения металла используется метод электролитического формования.

Как метод изготовления деталей электролитическое формование развивалось на основе гальванопластических процессов. Вследствие этого технологические процессы электролитического формования во многом повторяют гальванопластический процесс, подробно изложенный в работах Б. Я. Казначая, А. М. Гинберга, Л. Я. Попилова и Н. Н. Одноралова [4–7]. Наряду с технологией получения точных металлических копий в работах приводятся примеры изготовления объемных деталей и рассматриваются принципы получения тонкостенных трубок, волноводных каналов и деталей пресс-форм. В ходе развития процесс электролитического формования выделился в самостоятельный метод получения сложных по форме деталей. При изготовлении объемных деталей возникает необходимость использовать дополнительные элементы, позволяющие получить сборные конструкции требуемой формы монолитными. Например, при изготовлении волноводных каналов с фланцами или внутренними перегородками, поступают следующим образом: фланцы, перегородки или другие требуемые элементы изготавливают механической обработкой из требуемого металла; при сборке оправки эти элементы плотно подгоняются и электроосаждение металла производится на всю по-

верхность. В результате происходит сращивание деталей. После извлечения оправки дополнительные элементы остаются в осажденной оболочке и являются уже частью детали. Использование дополнительных элементов, изготовленных из легкоплавкого сплава или воска, которые после осаждения металла на модель могут быть выплавлены, позволяет получать детали с внутренними каналами и полостями. Таким образом, в рассмотренных случаях получаются не просто металлические копии с поверхности, на которую велось осаждение, а детали определенных форм и размеров.

Технологическая схема процесса электролитического формования состоит из ряда последовательных операций: 1) изготовление модели; 2) подготовка поверхности перед электроосаждением металла; 3) электроосаждение металла; 4) упрочнение электроосажденной оболочки в случае необходимости; 5) удаление механических припусков; 6) отделение готовой детали с модели.

Модели изготавливают как из металлов (конструкционных и коррозионно-стойких сталей, цинка, меди, алюминия и их сплавов), так и из неметаллов (воска, гипса, пластмасс). При крупносерийном производстве целесообразно сначала изготовить форму, являющуюся негативным изображением требуемого изделия. Затем в форме отливают или прессуют требуемое количество деталей, которые в дальнейшем используются в качестве моделей для осаждения металла. Следующим этапом процесса является подготовка поверхности модели перед осаждением: очистка от различных загрязнений, металлизация поверхности, если модель изготовлена из неметаллов, и нанесение разделительного слоя, если модель металлическая.

Стадия электроосаждения металлов определяет качество осадков и зависит от состава электролита и режимов осаждения. Все нарушения технологических параметров осаждения при электролитическом формовании отрицательно сказываются на ка-

честве осадка. Кроме того, составы электролитов и режимы осаждения в значительной степени определяют физико-механические свойства получаемых деталей. Особое значение в процессе электролитического формования имеет скорость осаждения металла, так как время, необходимое для получения осадков толщиной несколько миллиметров, исчисляется часами и сутками.

Следующей операцией электролитического формования является армирование, или упрочнение, осадков, полученных на модели. Эта операция осуществляется путем обволакивания пластмассой, осаждением или напылением меди или других металлов. Следует отметить, что получение конструкции металл—пластмасса значительно расширяет возможности процесса электролитического формования, так как электроосаждением формируют только те поверхности, которые по своему функциональному назначению должны быть металлическими (например, должны обладать электро- и теплопроводностью или повышенной прочностью). Весь основной объем конструкции изготавливается из пластмассы, формируемой любым способом. Армирование пластмассой позволяет значительно снизить массу конструкции, а также снизить стоимость ее изготовления. Дополнительное осаждение или напыление меди и других металлов также преследует цель утолщения и упрочнения электроосажденной оболочки, например в производстве форм.

Операция механической обработки занимает незначительный объем в общем процессе электролитического формования и сводится в основном к удалению технологических припусков, наростов и излишков металлического осадка на отдельных участках покрытой модели. Иногда производятся операции шлифования и полирования наружных поверхностей детали. Одной из наиболее ответственных операций процесса электролитического формования является извлечение модели из полученной детали. С особой осторожностью следует извлекать модель при изго-

товлении тонкостенных конструкций, чтобы не повредить полученную деталь.

В зависимости от конфигурации изготавливаемых деталей модели могут быть постоянными и разрушаемыми. Постоянные модели применяются только для деталей, допускающих разъем или отделение наращенного слоя от модели без ее разрушения. Для изготовления деталей сложной конфигурации, не допускающих разъема, а также единичных деталей используются разрушаемые формы. В последнее время появился новый вид моделей — деформируемые (эластичные), изготавливаемые из термопластов. Такие модели легко извлекаются из наращенной детали при нагреве в горячей воде и могут быть использованы повторно. В других случаях модели состоят из эластичной оболочки, наполненной жидкостью, воском или легкоплавкими сплавами. После осаждения наполнитель удаляется и оболочка легко извлекается из наращенной детали. Стоимость деталей, полученных на таких моделях, значительно снижается.

Выплавляемые модели изготавливаются из материалов, которые могут быть выплавлены при низких температурах без опасения коробления готового изделия. К ним относятся легкоплавкие сплавы типа «Вуда» и восковые композиции. Сплавы должны обладать хорошими литейными свойствами. Модели из восковых композиций являются наиболее дешевыми и простыми в изготовлении. Несмотря на то, что они совершенно не пригодны для изготовления деталей с жесткими допусками на размеры, они все же находят применение в промышленности, особенно для изготовления крупногабаритных деталей с толстыми стенками.

Восковые композиции, используемые для отливки моделей, должны отвечать ряду требований: иметь хорошие литейные свойства и не прилипать к поверхности оснастки, не коробиться и не растрескиваться при охлаждении после отливки, не размягчаться при температуре работы электролита. Однако довольно трудно подобрать композицию, которая отвечала бы

всем требованиям. Особенно это относится к температуре электролита. Поэтому для нанесения на восковые модели электролитического осадка применяются, как правило, электролиты, работающие при низких температурах.

А. А. Штурман [8] предложил изготавливать восковые модели для электролитического формования деталей из смеси, содержащей 60–70 % зуботехнического воска и 30–40 % отбеленного воска. Приготовленную смесь заливают в гипсовые или металлические формы. Для лучшего отделения модели от формы и получения поверхности хорошего качества необходимо металлическую форму прогреть до температуры 50–60 °С и смазать ее поверхность касторовым или растительным маслом. Хорошие результаты получены при изготовлении модели из карнаубского воска. Однако точность воспроизведения размеров полученных затем деталей колеблется в пределах $\pm 10\%$ вследствие чувствительности моделей к колебаниям температур.

Для изготовления разрушаемых моделей используют восковую композицию следующего состава: озокерит — 80 %, церезин — 20 % [9]. Причем содержание смолы в озокерите должно быть не менее 21 %. Полученные из этого состава модели имеют гладкую, полированную поверхность и обеспечивают получение деталей высокой точности. Процесс изготовления моделей состоит из нескольких этапов. В стальной емкости последовательно расплавляют озокерит и церезин при температуре 84–88 °С. Расплавленную массу заливают в предварительно нагретую до 65–75 °С разъемную форму. В остывшую массу вставляют крючок, который держит модель при опускании ее в гальваническую ванну. В предложенной на основе озокерита композиции значение коэффициента усадки составляет 2–4 %. Масса, идущая на изготовление модели, может быть использована многократно.

Хорошие результаты дает восковая композиция, состоящая из 60 % канифоли, 20 % пчелиного вос-

ка и 20 % стеарина. Готовится данная композиция следующим образом: канифоль расплавляется и в полученный раствор при непрерывном перемешивании вводится смесь расплавленного пчелиного воска и стеарина. Полученные из этой композиции модели имеют гладкую поверхность и могут быть использованы для изготовления деталей высокой точности.

Для изготовления растворимых моделей можно использовать различные пластмассообразующие массы, например акрилаты, поливинилхлориды, полистирол, целлулоид. Пластмассовые модели изготавливаются как непосредственной обработкой заготовки, так и снятием оттиска копии с металлического оригинала размягченной пластмассой. Применяются также методы литья и прессования, являющиеся наиболее рациональными при большой потребности в моделях. Растворяют пластмассовые модели после осаждения металлов в органических растворителях. Известны случаи изготовления водорастворимых моделей из солей. Растворимые формы изготавливаются из эвтектической смеси солей, которая после прокаливания напоминает керамику. Такие модели обладают достаточной твердостью и обеспечивают точные размеры изготавливаемых деталей. На готовую форму наносят водонепроницаемое покрытие, защищающее поверхность модели от влаги. С помощью водорастворимых моделей изготавливают сосуды Дьюара, детали ракет.

В последнее время часто используют модели из деформируемых материалов. Основной частью таких моделей является оболочка, имеющая достаточную твердость и в то же время обладающая эластичностью, позволяющей извлечь ее из осажденной детали. Наиболее часто материалом для моделей является поливинилхлорид или хлорвиниловая паста (пластизоль), из которого методом ротационного литья получают оболочку требуемой толщины и конфигурации. Затем оболочку заполняют каким-либо веществом, чтобы сделать модель твердой и тяже-

лой. Для обеспечения жесткости конструкции на оболочке монтируются фланцы жесткости, закрепленные гальваническим способом или пайкой. Для удаления модели из готовой детали сначала выплавляют наполнитель (чаще всего это технический воск), а затем извлекают оболочку, которая вновь используется. Примерами применения являются изготовление частей кукол, игрушечные животные, автомобильные подлокотники и подголовники, баки для мотоциклов, сидения и т. д. Очевидно, что точность изготовления деталей, достигаемая при использовании таких моделей, невелика и не идет в сравнение с точностью, получаемой при использовании металлических постоянных моделей.

Р. А. Ботозан [10] в своей работе описывает технологическую схему изготовления тонкостенных диафрагм из никеля. Толщина диафрагмы составляет 0,13 мм при диаметре 1,5 м. Диафрагма имеет гофры, которые не позволяют отделить ее от жесткой формы. Для электролитического формования диафрагмы была изготовлена модель из белого термопластического стирола толщиной 1 мм. Стирол укладывали на деревянный шаблон, повторяющий гофры диафрагмы, и методом вакуумного формования получали модель требуемой конфигурации. После металлизации поверхности модели осаждали слой никеля. Для отделения готовой диафрагмы модель с наращенным слоем погружали в горячую воду, где стирол размягчался и легко извлекался из осадка.

Существует метод изготовления тонкостенных деталей с использованием многосекционных моделей. Секции моделей из полимерных материалов (например, полиэтилена или стеклопластика) устанавливаются в оправку из легкоплавкого материала и в случае необходимости соединяют между собой металлическими болтами. После осаждения металла оправка расплавляется и пластмассовые секции по отдельности извлекаются из готовой детали. Для изготовления выплавляемой оправки может быть использован сплав, содержащий 60 % олова и 40 % висмута, ко-

торый отливают в алюминиевую оснастку. Пластмассовые секции затем используют для повторного изготовления модели.

Приведенные примеры позволяют сделать вывод, что изделия с точными размерами и низкой шероховатостью поверхности следует изготовить только на металлических моделях. Во всех остальных случаях выбор технологии изготовления модели зависит от сложности конфигурации изделия.

Рассмотрим данную технологию на примере изготовления форм для получения полых изделий с применением моделей из деформированных материалов. В качестве модели используют готовое изделие из пластизоля. Через отверстие в торце полости изделия заливают воском или парафином и вставляют медный штырь с резьбой (рис. 2.1).

Воск заливают при температуре 55–65 °С небольшими порциями при покачивании модели и следят за тем, чтобы не возникло местного перегрева оболочки, который может привести к ее деформации. После затвердевания воска на модель монтируют токоподвод (рис. 2.2.). Для этого к обойме из винипласта 3

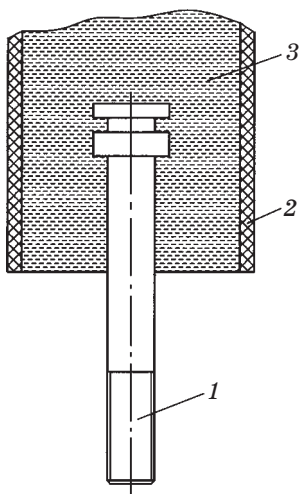


Рис. 2.1. Модель деформируемого материала:

1 — медный штырь; 2 — модель; 3 — воск

присоединяют кольцо из фольгированного текстолита 8 или медную пластину, являющуюся проводящим основанием, при помощи гайки с наружной и внутренней резьбой 7 и закрепляют гайкой 4 из фторопласта или винипласта. С одной стороны к обойме присоединяют модель 1 с фланцем 2, с другой стороны — токоподвод 6. Благодаря ступеням с разным диаметром на фланце модель в процессе наращивания прочно соединя-

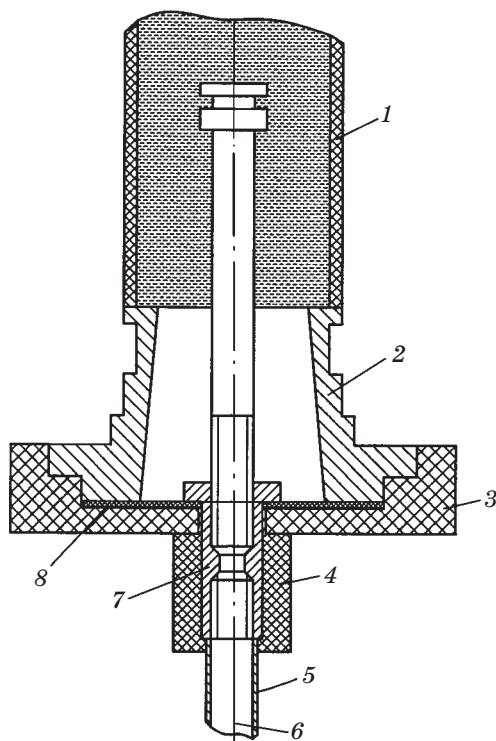


Рис. 2.2. Крепление токоподводов на модель из деформируемого материала:
 1 — модель; 2 — фланец; 3 — обойма; 4 — гайка фторопластовая; 5 — экран; 6 — токоподвод; 7 — гайка латунная; 8 — кольцо

ется с фланцем. Далее модель с токоподводом обезжиривают моющим средством и спиртом, а потом промывают в холодной воде. Для нанесения токопроводящего слоя модель тщательно натирают при помощи кисти порошком графита, а избыток графита смывают холодной проточной водой. После этого наносят слой сульфида меди, и модель под напряжением 1В завешивают в установку нанесения никеля на 1–2 ч для закрепления токопроводящего слоя. Далее устанавливают плотность тока 1–2 А/дм² и наращивают никель требуемой толщины. Затем модель

с осадком без промывки переносят в установку наращивания меди. Модель завешивается под током (плотность тока при наращивании составляет 2–4 А/дм²). После этого модель вынимают из установки, промывают холодной водой и демонтируют токоподвод, выплавляют воск из модели и извлекают пластизовую оболочку. Остатки воска снимают бензином, а токопроводящий слой — раствором из 80 г/л хромового ангидрида и 15–50 г/л серной кислоты.

В технологии электролитического формования, как правило, используются сернокислые и сульфатные электролиты никелирования и меднения. Рассмотрим более подробно влияние состава электролита и режимов осаждения на свойства никелевых осадков. Основными компонентами электролитов никелирования являются: сернокислый или сульфаминовокислый никель, хлористый никель и борная кислота. Хлористый никель вводится в электролит для предотвращения пассивации анодов ионами хлора, а борную кислоту используют как буферное соединение. Свойства никелевых осадков — твердость, внутренние напряжения, возникающие в осадках, сопротивление — зависят от плотности тока. При низких значениях плотности тока осаждаются твердые осадки с большим сопротивлением, так как эти условия благоприятны для соосаждения органических примесей и посторонних включений. С повышением температуры электролита твердость и внутренние напряжения никелевых осадков уменьшаются, а относительное удлинение увеличивается. С повышением температуры электролита осадки никеля имеют более совершенную структуру, меньше наводораживаются и становятся более пластичными. С увеличением значения рН электролита твердость и внутренние напряжения никелевых осадков возрастают, а относительное удлинение и удельное электрическое сопротивление уменьшаются. При наращивании толстых слоев никеля применяются органические добавки (блескообразователи, поверхностно-активные вещества).

Поверхностно-активные вещества являются необходимым компонентом электролитов никелирования; они влияют на физико-механические свойства, внешний вид никелевых осадков и кинетику растворения анодов. В сульфаминовокислых электролитах никелирования применяют лаурилсульфат натрия, смачиватель «Прогресс». Однако эти поверхностно-активные вещества не обеспечивают надежной защиты от проявлений питтинга и дендритов. В связи с этим были предприняты попытки поиска новых поверхностно-активных веществ — катионо- и анионо-активных и неионогенных [11]. Катионоактивные поверхностно-активные вещества не рекомендуются для применения в электролитах никелирования из-за питтингообразования и ухудшения работы анионитов. Из группы неионогенных поверхностно-активных веществ можно рекомендовать синтонол марок ДТ-7 и ДС-10, оксиэтилированные вторичные спирты, изофенил оксиэтилированный и оксиэтилендифосфорную кислоту (последняя добавка уменьшает поверхностное натяжение). При введении этих веществ в электролит, осажденные слои никеля становятся менее пластичными, но более твердыми и прочными по сравнению с осадками никеля, полученными из электролитов без добавок. Такие покрытия никеля можно применять при электроформовании, если не предъявляются специальные требования по пластичности. Наиболее эффективными поверхностно-активными добавками являются додецилсульфонат натрия, смачиватель марки СВ-1017, алкилсульфат натрия, алкилполиоксиэтиленсульфат натрия. При их применении никелевые осадки становятся более пластичными.

Исследовано влияние органических добавок на свойства электроосажденного никеля. Добавки нафталинтрисульфоната натрия, сахарина, п-толуолсульфамида, метабензола, трисульфоновой кислоты вводят в никелевый электролит для придания специальных свойств осадкам никеля (например, для уменьшения предела прочности и повышения твердости). При увеличении концентрации органических

добавок твердость никелевых осадков значительно возрастает, причем более эффективна в этом отношении добавка сахара [12, 13]. Органические серосодержащие соединения увеличивают твердость осадков, внутренние напряжения, а также содержание серы, уменьшают относительное удлинение и устойчивость к деформации на перегиб. Содержание серы в электролитических осадках является одним из основных факторов, определяющих физические свойства получаемых деталей. Так, предел прочности [14], намагниченность, удельное электрическое сопротивление [15] увеличиваются с ростом концентрации серы в осадках, полученных в присутствии сахара и других серосодержащих соединений. Сопротивление осадков никеля резко возрастает при увеличении содержания серы до 0,5 %, что обусловлено включением серы в решетку с образованием пересыщенного твердого раствора.

При электролизе никеля сульфосоединения подвергаются превращениям с образованием новых соединений, о механизме влияния которых существуют несколько точек зрения [16]. Все точки зрения предполагают одинаковые конечные продукты и различаются промежуточными стадиями. Распространенной добавкой, влияющей на свойства осадков никеля, является сахарин. Разложение сахара на различных активных центрах происходит двумя путями: 1) гидрирование сахара без отрыва серы; 2) полное десульфирование ее молекулы. Методами химического анализа выделены продукты разложения сахара: бензамид, бензилсульфат и о-толуолсульфамид. Количество сахара, находящегося в электролите, примерно в два раза больше количества серы, включенной в осадок. Иными словами, соотношение общей серы и углерода в осадках не соответствует соотношению этих параметров в молекулах исходных органических веществ. Сера находится в осадке в виде элементарной серы, сульфида или в виде других соединений. Были выявлены основные закономерности включения серы в осадок: содержание серы воз-

растает с увеличением концентрации добавки, содержание серы всегда больше в осадках, полученных из более кислых электролитов; увеличение плотности тока приводит к снижению содержания серы; повышение температуры электролита увеличивает содержание серы в осадках [17].

На структуру и свойства осадков никеля также в значительной степени оказывают влияние состав используемых электролитов и режимы осаждения. В зависимости от условий осаждения и состава электролита осадки никеля могут быть мягкими и пластичными или, наоборот, твердыми, обладающими высокой прочностью, но одновременно и хрупкими. Так, из электролита Уоттса при низких значениях pH (от 1,5 до 4,5) осадки имеют следующие свойства: твердость — 140–160 кгс/мм², предел прочности — 35 кгс/мм², относительное удлинение — 30 %, внутренние напряжения растяжения — 12,7 кгс/мм². Осадки, полученные из сульфатного электролита с добавкой хлорида аммония при pH 5,4–5,8, имеют твердость 350–500 кгс/мм² и предел прочности 107 кгс/мм², но характеризуются высокими внутренними напряжениями — до 31 кгс/мм² и имеют относительное удлинение всего лишь 5–8 % [18].

Большие значения внутренних напряжений никелевых осадков часто являются причиной растрескивания в процессе осаждения на модель. Для осадков никеля характерны как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Знак напряжений в большей степени зависит от специальных добавок, используемых при осаждении. Внутренние напряжения в осадках никеля, полученных из сульфатных электролитов, изменяются с увеличением толщины осадков. В начале электролиза внутренние напряжения имеют более высокие значения, но по мере увеличения толщины осадка они уменьшаются до некоторого определенного значения. Для осадков никеля, полученных из сульфатных электролитов, начиная с толщины 20–30 мкм, они уже практически не меняются. Уменьшение внутренних напряжений объясняется увеличением размеров кристал-

лов электролитических осадков [19]. Исследование зависимости внутренних напряжений от состава электролита проводилось рядом авторов [20]. Было установлено, что с повышением концентрации никеля в электролите внутренние напряжения в осадках возрастают, а затем уже не зависят от концентрации. Присутствие борной кислоты в пределах 25–35 г/л практически не влияет на внутренние напряжения осадка. Значительное влияние на внутренние напряжения осадков никеля оказывает присутствие в электролите иона хлора. С повышением концентрации хлорида в электролите внутренние напряжения в осадках линейно возрастают. Внутренние напряжения в никелевых осадках также зависят от значения рН электролита. Причем с увеличением значения рН внутренние напряжения резко возрастают. Это связано с образованием в прикатодном слое гидроксида никеля, который включается в осадок, поэтому электролиты с рН = 5 и выше совершенно не пригодны для наращивания толстых слоев никеля, так как последние имеют очень высокие внутренние напряжения. В электролитах никелирования внутренние напряжения в осадках практически не зависят от плотности тока, если значения рН электролита поддерживать на постоянном уровне. Однако на практике внутренние напряжения в осадках увеличиваются с повышением плотности тока, так как при этом обычно наблюдается повышение значений рН электролита. С повышением температуры электролита внутренние напряжения в осадках возрастают, если при этом появляются коллоидные образования в результате гидролиза соли никеля, что зависит от значения рН. В противном случае с увеличением температуры внутренние напряжения в осадках несколько снижаются.

Исследовалась зависимость внутренних напряжений в осадках никеля от плотности тока в электролитах с различной степенью очистки. Было установлено, что в электролитах, не подвергнутых предварительной очистке, получают осадки с большими внутренними напряжениями [21]. Поэтому для нара-

щивания толстых слоев никеля необходимо применять непрерывную очистку электролита. Твердость осадков никеля также в значительной степени определяется составом электролита и режимом процесса. По некоторым данным [22], микротвердость никелевых осадков увеличивается с повышением концентрации хлорида никеля и уменьшается с повышением концентрации борной кислоты и температуры электролита. С повышением значения рН электролита микротвердость изменяется по кривой с минимумом, соответствующим рН = 2. При изменении рН от 2,0 до 4,5 микротвердость осадков увеличивается. Такое увеличение микротвердости, а также предела прочности осадков после достижения определенного значения рН электролита объясняется измельчением зерна и включением в осадок основных солей никеля. С повышением плотности тока микротвердость осадков сначала уменьшается, а затем увеличивается. Осадки с наименьшей твердостью получаются при плотности тока 1,5–3,0 А/дм². Изменение показателей твердости с плотностью тока жестко коррелируются с изменением размера зерна в осадках. Аналогичная зависимость получена для предела прочности.

Рассмотрим теперь влияние температуры электролита на механические свойства осадков. Установлено, что с повышением температуры электролита микротвердость осадков уменьшается, а затем принимает почти постоянное значение. Предел прочности при низких температурах почти не изменяется и несколько уменьшается для осадков, полученных при температурах электролита свыше 50 °С, а относительное удлинение, наоборот, при этих температурах несколько увеличивается. С повышением температуры от 30 до 60 °С предел текучести и прочности увеличивается, а значение коэффициента удлинения уменьшается [18].

Наибольшее число исследований физико-механических свойств приходится на долю осадков, полученных из сульфаматных электролитов. Это объясняется тем, что из сульфаматных электролитов получают осадки с небольшими внутренними напряжениями.

В то же время осадки из этих электролитов прочные и являются достаточно пластичными. Внутренние напряжения осадков из сульфаматных электролитов зависят от ряда факторов и, в первую очередь, от степени чистоты используемых электролитов. Установлено, что внутренние напряжения осадков никеля, полученных в сульфаматном электролите, приготовленном из солей квалификации «чистые», оказались очень высокими из-за наличия в солях большого количества примесей. После очистки электролита внутренние напряжения в осадке значительно уменьшаются. Известно, что с увеличением толщины осадка внутренние напряжения уменьшаются и становятся постоянными при толщине 20–25 мкм. Изменения внутренних напряжений с увеличением значения pH сульфаматного электролита никелирования происходят по кривой с минимумом при pH, равном 3,25 [23], и содержании никеля 10 г/л. При меньшей концентрации никеля в электролите минимальное значение внутренних напряжений сдвигается в область больших значений. Таким образом, осаждение толстых слоев осадков в высококонцентрированных электролитах целесообразнее производить при более низких значениях pH — 3,0–3,5. Влияние температуры на внутренние напряжения осадков, полученных из сульфаматных электролитов, незначительно. Однако надо отметить, что при температуре 60 °С внутренние напряжения минимальны, что объясняется укрупнением кристаллов осадка при повышенных температурах. Концентрация сульфамата никеля на внутренние напряжения влияет следующим образом: при концентрации соли никеля от 100 до 800 г/л наблюдается тенденция к снижению внутренних напряжений растяжений до нулевых значений с последующим переходом их в напряжение сжатия, причем резкое изменение внутренних напряжений наблюдается в интервале концентраций 350–650 г/л.

Приведем физико-механические свойства никеля, полученного из сульфаматного электролита: микротвердость — от 1500 до 3000 МПа, предел прочно-

Т а б л и ц а 2.1

Состав электролитов никелирования

Компоненты электролита	Концентрация, г/л	Температура, °С	Значение pH	Плотность тока, А/дм ²	Примечание
Никель сульфаминовокислый	350–400				Постоянное перемешивание электролита и фильтрация
Никель двухлористый	2,0–4,0	45–55	3,0–4,0	1,0–20	
Кислота борная	25–35				
Натрий лаурилсульфат	0,5–1,0				
Никель сернокислый 7-водный	240–330						Постоянное перемешивание электролита
Никель двухлористый	45	40–60	4,5–5,0	1,5–5,0	
Борная кислота	35				
Никель сернокислый 7-водный	250				
Аммоний хлористый	25	40–65	5,6–5,9	2,0–10	
Борная кислота	30				

сти — от 400 до 700 МПа, относительное удлинение — от 10 до 18 %, внутренние напряжения — от 15 до 70 МПа.

Основные составы электролитов, применяемых в гальванопластике, приведены в табл. 2.1.

2.2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВАНИЕ СЕРНОКИСЛЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НИКЕЛИРОВАНИЯ

Соли, входящие в состав электролитов никелирования, следует растворить каждую отдельно в теплой воде, а борную кислоту — в кипящей воде.

Растворы декантировать в рабочую ванну и долить водой до заданного объема. Полученный электролит тщательно перемешать и определить величину рН. Для увеличения рН в электролит осторожно, при интенсивном перемешивании, добавить 0,3%-ный раствор едкого натра. Для уменьшения значения рН добавить 1н-раствор серной кислоты в количестве 1 мл на литр электролита. Через 5–10 мин вновь определить значение рН. Затем электролит необходимо подвергнуть химической и селективной очистке. Химическая очистка заключается в добавлении 2 мл/л перекиси водорода при значении рН, равном 5, и интенсивном перемешивании электролита в течение 30 мин. Затем добавить 3 г/л активированного угля и в течение нескольких часов перемешивать электролит. Раствору дать отстояться в течение 6–12 ч и отфильтровать. После химической очистки, для окончательного удаления ионов меди, цинка, железа, находящихся в реактивах, электролит проработать при плотности тока 0,1–0,2 А/дм² при интенсивном перемешивании до получения светлого никелевого осадка. Электролит корректировать не реже двух раз в месяц по данным химического анализа на сернокислый никель, хлористый никель и борную кислоту. Концентрацию водородных ионов контролировать ежедневно. Вредными примесями в электролите никелирования являются железо — до 0,2 г/л, медь — до 0,01 г/л и цинк — до 0,01 г/л.

Приготовление и корректирование сульфаминовокислого электролита никелирования производится аналогично приготовлению и корректированию сульфаминовокислого электролита никель—кобальт (см. п. 1.5).

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛНОВОДОВ

3.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ВОЛНОВОДАХ

Волноводы используют в сверхвысокочастотных приборах, предназначенных для эксплуатации ракетно-космической и атомной техники, во многих областях физических исследований, медицине и в ряде других областей народного хозяйства. Назначение волноводов — передача энергии в диапазоне дециметровых, сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых волн.

Конструктивно волновод представляет собой полую металлическую трубу, не содержащую внутренних проводников.

Среди всех средств передачи электромагнитной энергии волновод обладает наибольшей простотой и жесткостью конструкции. Он не имеет потерь на излучение, так как электромагнитное поле целиком заключено внутри трубы (при толщине стенок, превышающей глубину проникновения поля в металл). Ввиду отсутствия внутреннего проводника отпадает необходимость введения опор. В результате этого полностью исключаются потери в диэлектрике. Потери в стенках волновода намного меньше, чем потери в проводниках обычных линий электропередач. Электрическая прочность волновода выше, чем в обычных линиях, так как увеличен путь возможного электрического пробоя в области максимальной напряженности электрического поля.

В настоящее время волноводы изготавливаются в основном механической обработкой, что сопряжено с непроизводительными материальными и трудовыми затратами.

Для снижения трудоемкости изготовления волноводов, повышения их качества, сокращения расхода цветных металлов предложена новая техноло-

гия их изготовления — по эластичным моделям методом гальванопластики, которая включает наращивание сложных по конфигурации волноводных каналов и обеспечивает получение волноводов с заданными точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Поставленная задача решается за счет использования легкоплавкого сплава при изготовлении арматуры, имитирующей форму канала с заниженными размерами по сечению. Арматуру предварительно отливают в специальной форме. Для повышения точности модели путем компенсации усадки легкоплавкого сплава арматуру опрессовывают слоем полисилоксановой композиции в пресс-форме, размеры и шероховатость поверхности которой обеспечивают получение модели с заданными параметрами. Такая модель позволяет получать методом гальванопластики волноводные каналы любой сложности с высокой точностью и шероховатостью поверхности. Из готового изделия модель легко извлекается путем выплавления арматуры и извлечения оболочки.

Разработанная технология расширяет возможности гальванопластики для производства волноводов, заменяя дорогостоящие алюминиевые модели, изготавливаемые механической обработкой. Она также дает возможность замены разъемных изделий, изготавливаемых из нескольких деталей, неразъемными конструкциями

Замена ряда изделий одним функциональным элементом и изъятие из конструкции соединительных фланцев значительно уменьшает массу волноводных узлов, снижает трудоемкость их изготовления и сокращает время настройки. Такая технология обеспечивает получение волноводов с точностью Н7 и шероховатостью поверхности $R_a = 0,4$ в условиях единичного и серийного производства.

3.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ВЫБОР ТИПОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛНОВОДОВ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ПО ЭЛАСТИЧНЫМ МОДЕЛЯМ

Процесс изготовления волноводов повышенной сложности и точности методом гальваноластики по эластичным моделям состоит из четырех этапов:

- 1) изготовление арматуры для армирования эластичной модели (литье легкоплавкого сплава);
- 2) изготовление эластичной модели (прессование компаунда);
- 3) электролитическое наращивание слоя меди на модель (гальваноластика);
- 4) извлечение модели из изготовленного изделия (выплавление легкоплавкого сплава и удаление эластичной оболочки).

Метод гальваноластики уменьшает трудоемкость изготовления и повышает точность волноводов по сравнению с другими известными методами, уменьшает расход цветных металлов и электроэнергии, обеспечивает идентичность, сокращает длительность производственного цикла.

Применение эластичных моделей позволяет изготавливать волноводы различной конфигурационной сложности, заданной шероховатости и точности.

Существует огромное количество волноводов, которые в настоящее время изготавливаются механическим путем из латуни, меди, никеля и его сплавов. Конструкция волноводов определяется параметрами изделия. Чем сложнее его конструкция и чем больше программа выпуска, тем экономически целесообразнее перевод изделия на гальваноластичский метод изготовления.

Условно по существующей технологии подобные изделия можно разделить на три группы: А, Б, В.

К *группе А* можно отнести изделия, имеющие сложные криволинейные каналы (типа тройников,

переключателей, циркуляторов), изготавливаемые механическим путем из двух или нескольких деталей, соединяемых между собой винтами и пайкой с применением высокотемпературных припоев (рис. 3.1, а—д). Такой способ изготовления волноводов характеризуется большой трудоемкостью и низким коэффициентом использования металлов (до 15–20 %).

К группе Б можно отнести сложные волноводы, изготавливаемые методом гальванопластики по вытравляемым моделям. На рис. 3.2, а, б представлены изделия, которые в настоящее время изготавливаются на алюминиевых моделях разового использования.

Высокая стоимость моделей для гальванопластического наращивания полностью входит в себестоимость готового изделия и делает метод экономически невыгодным при серийном производстве. Технология изготовления волноводов по алюминиевым оправкам (моделям) следующая: оправки, изготовленные из алюминия марки А0 или Д16 обезжириваются средством «Деталан АЛ» или любым другим моющим

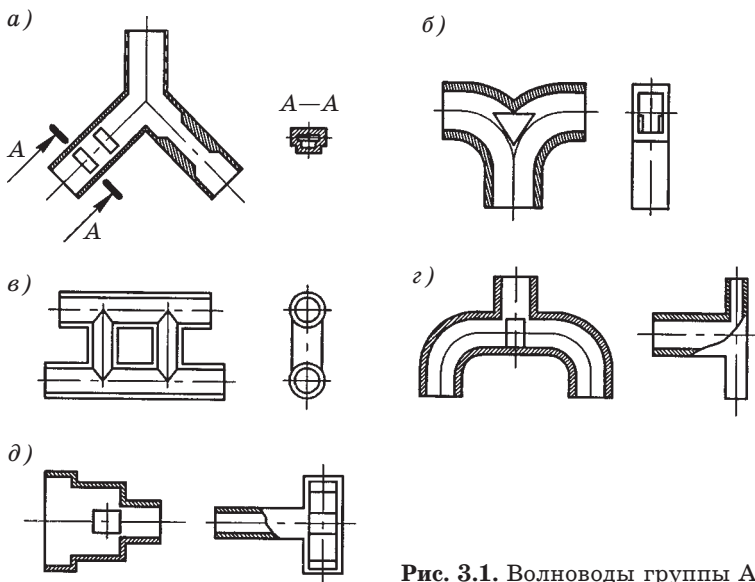


Рис. 3.1. Волноводы группы А

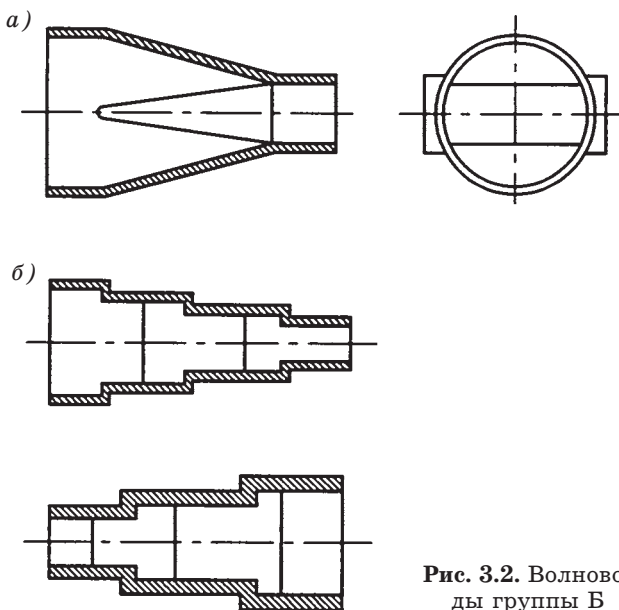


Рис. 3.2. Волноводы группы Б

средством. Затем оправку обрабатывают в растворе, состоящем из азотной кислоты (плотностью 1,41) и серной кислоты (плотностью 1,94) в соотношении 1 : 3 при температуре 20 ± 5 °С в течение 0,1–0,5 мин. Далее детали промывают в проточной холодной воде и производят операцию по цементации алюминиевой поверхности цинком. Для цементации цинком оправки погружают при температуре 15–25 °С на 15–30 с в раствор, содержащий 70–100 г/л оксида цинка (ZnO) и 450–500 г/л едкого натра (NaOH). На образовавшуюся пленку цинка толщиной 0,05 мкм осаждают слой меди из сернокислого или сульфаматного электролита [24]. Оправку завешивают в ванну под током (плотность тока должна быть в 1,5 раза выше расчетного значения) на 0,5–1,0 мин, а затем перевешивают в рабочую ванну для нанесения основного слоя. После электроосаждения основного слоя и демонтажа токоподвода и изолирующих заглушек производится механическая обработка наружных поверхностей. Затем оправка из алюминия вытравливается

в растворе, состоящем из 250–500 г/л едкого натра. После удаления оправки внутренний канал волновода осветляется в растворе, содержащем 90–110 г/л хромового ангидрида и 8,0–12 г/л серной кислоты в течение 2–5 с при комнатной температуре.

К *группе В* можно отнести латунные и медные волноводы, изготавливаемые из проката. На рис. 3.3, *a–г* представлены волноводы, изготавливаемые из проката различного сечения механическим путем с последующей пайкой отдельных элементов высокотемпературными припоями. Этот способ изготовления изделий характеризуется большой трудоемкостью слесарных операций, необходимостью изготовления сложных приспособлений для пайки, обеспечивающих точность изделий. Кроме того, требуется слесарная доводка паяных швов внутри канала зачастую в труднодоступных местах.

Эластичные модели для изготовления волноводов методом гальванопластики. Эластичная модель представляет собой жесткую металлическую арматуру с заниженными размерами по сечению канала, опрессованную слоем эластичного компаунда. Для крепления токоподводов и изолирующих заглушек в модели предусмотрены резьбовые элементы, выполненные из металлов, стойких к электролитам (титана, стали Х18Н10Т), во избежание растравливания резьбы. Точность размеров и шероховатость поверхности модели должны обеспечивать получение волновода с заданными параметрами. Как правило, достаточными являются точность в пределах $\pm 0,01$ мм и шероховатость поверхности $R_a = 0,8 \div 0,4$.

Технологичность модели должна обеспечивать возможность проведения следующих технологических операций: нанесения токопроводящего слоя, крепления токоподводов и изолирующих заглушек, гальванопластического наращивания. При конструировании эластичных моделей должны быть предусмотрены технологические припуски по длине канала от 10 до 20 мм во избежание деформации эластичной оболочки при креплении изолирующих заглушек и то-

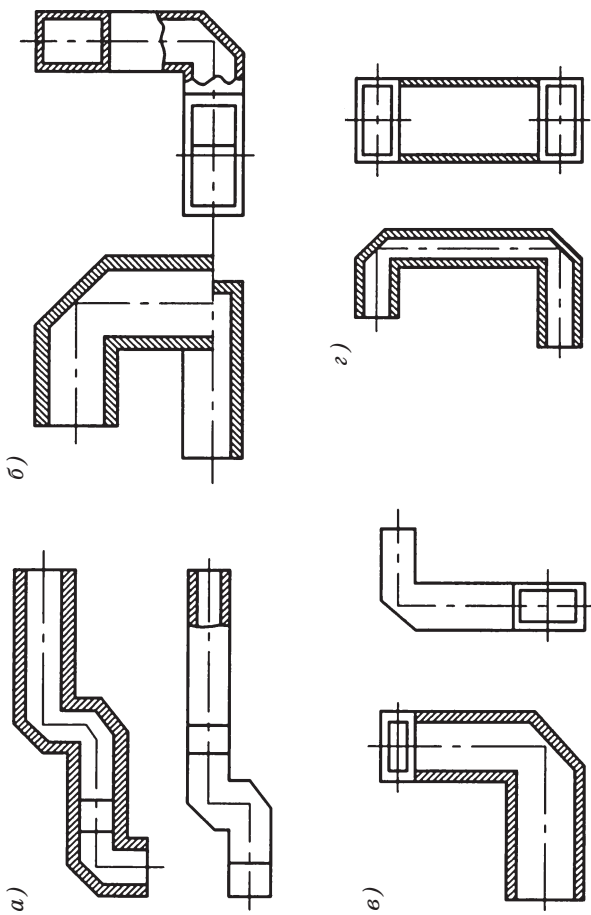


Рис. 3.3. Волноводы группы В

коподводов, а также для обеспечения последующей механической обработки.

Точность изготовления модели определяется точностью пресс-формы для опрессовки ее арматуры эластичным компаундом. Толщина опрессовочного слоя полисилоксановой композиции выбирается в зависимости от сечения детали в пределах от 0,3 до 1,5 мм. Для деталей с малым сечением выбирается минимальная толщина опрессовочного слоя, так как она влияет на размеры арматуры, определяющие, в свою очередь, жесткость эластичной модели.

Оформляющие поверхности пресс-формы для опрессовки арматуры должны иметь класс чистоты обработки выше, чем у получаемой модели.

В зависимости от конструкции изготавливаемого волновода эластичные модели подразделяются на три вида.

1. Эластичная модель с комбинированной арматурой из титана приведена на рис. 3.4.

Модель представляет собой титановую оправку 1, частично залитую легкоплавким сплавом 2 и опрессованную слоем 3 полисилоксановой композиции толщиной 1 мм. При такой конструкции модели элементы крепления токоподводов и изолирующих заглушек предусмотрены в жесткой арматуре многоразового использования.

2. Эластичные модели с арматурой из легкоплавкого сплава (типа «Вуда» или «Розе») применяются для сложных изделий, не допускающих извлечение

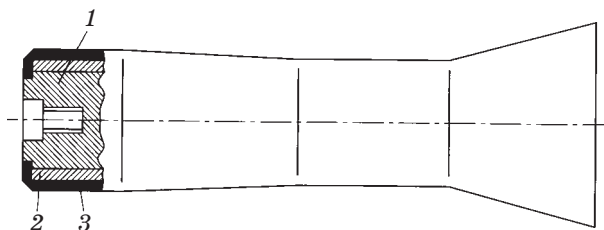


Рис. 3.4. Эластичная модель с комбинированной арматурой:

1 — оправка титановая; 2 — оболочка из сплава «Вуда»;
3 — эластичная оболочка

жесткой арматуры. На рис. 3.5 приведена конструкция модели из легкоплавкого сплава для гальванопластического наращивания изделия. Модель состоит из жесткой арматуры 1, отлитой из сплава «Вуда» и опрессованной слоем полисилоксановой композиции 2 толщиной до 1 мм. Для крепления токоподвода и изолирующих заглушек в конструкции модели предусмотрены резьбовые титановые втулки. Во избежание растравливания в электролите сплава «Вуда» вся поверхность арматуры покрыта полисилоксановой оболочкой.

3. Эластичные модели с жесткой арматурой из титана или коррозионно-стойкой стали применяются в случае, если габаритные размеры изделия достаточно велики, а конструкция изделия допускает извлечение жесткой титановой арматуры при выплавлении промежуточного слоя легкоплавкого сплава. В результате резко сокращается расход легкоплавкого металла и уменьшается масса модели.

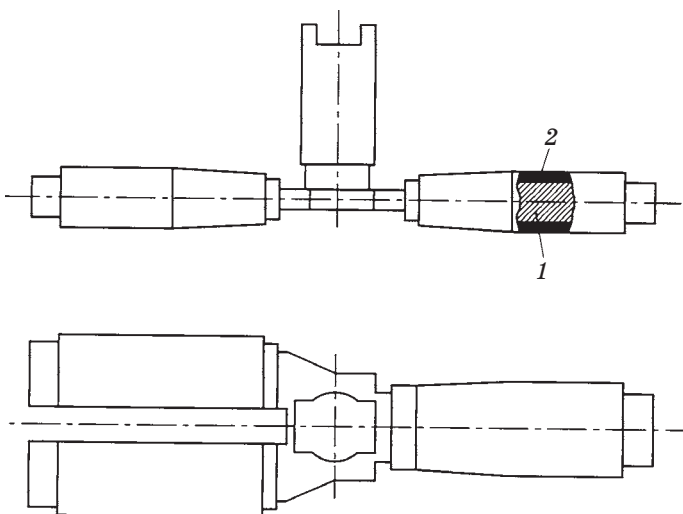


Рис. 3.5. Эластичная модель с арматурой из легкоплавкого сплава:

1 — арматура из легкоплавкого сплава; 2 — эластичная оболочка

Для изготовления моделей невысокой точности, допускающих разъем, используют модели с жесткой арматурой многократного использования. В этих случаях операция нанесения адгезионного слоя должна быть исключена. Эластичные модели для гальванопластического наращивания по точности и шероховатости поверхности должны соответствовать требованиям чертежей на модели. Рабочие поверхности моделей не должны иметь трещин, раковин, забоин, посторонних включений.

Использование эластичных моделей для гальванопластического наращивания сложных изделий дает возможность получать изделия любой конфигурационной сложности с высокой точностью и шероховатостью поверхности, расширяет возможности разработчиков волноводов по замене ряда деталей, входящих в тракт общим функциональным элементом, сокращает трудоемкость изготовления волноводов в 6–8 раз, увеличивает коэффициент использования цветных металлов до 95 %.

Выбор армирующих материалов для получения жесткой арматуры эластичной модели. Для того чтобы обеспечить возможность выплавления арматуры из готового изделия, в качестве армирующих материалов должны использоваться легкоплавкие сплавы, ранее разработанные и используемые при изготовлении моделей для гальванопластического наращивания.

Большинство легкоплавких сплавов содержат свинец, олово, висмут, кадмий. Легкоплавкие сплавы переходят в жидкое состояние при сравнительно низких температурах, значительно ниже температур плавления металлов, входящих в их состав. При этом температура плавления сплавов понижается при переходе от двухкомпонентных к тройным и четверным эвтектическим композициям. Применительно к оловянно-свинцовому сплаву наиболее действенными добавками, понижающими температуру плавления, являются сурьма, висмут и кадмий.

Применение сурьмы в качестве добавки ограничивается ее высокой температурой плавления, и боль-

шинство легкоплавких сплавов представляют собой композиции на основе сплава с добавками висмута, кадмия и свинца.

Установлено, что ряд сплавов при остывании изменяют свои размеры, что связано, кроме теплового сжатия или расширения, наблюдаемых при колебаниях температуры, также с дополнительным изменением размеров в результате перегруппировки атомов в кристаллической решетке. Так, если количество висмута или сурьмы в сплаве достаточно велико, то при охлаждении после затвердевания сплав будет расширяться в результате перестройки кристаллической решетки [24]. Сплавы, содержащие более 47 % висмута, при охлаждении расширяются, а при меньшем содержании висмута сжимаются, как все другие материалы.

Модели могут изготавливаться из легкоплавкого сплава, содержащего 60 % олова и 40 % висмута, точка плавления которого находится в интервале 130–170 °С.

Сплавы, содержащие висмут, свинец, олово, с температурой плавления 40–200 °С также широко применяются для изготовления моделей.

Например, для изготовления циркулятора и резонансного вентиля применяется сплав, состоящий из 25 % свинца, 12,5 % олова, 12,5 % кадмия и 50 % висмута. Состав и свойства легкоплавких сплавов, применяемых для изготовления моделей с последующим гальванопластическим наращиванием, приведены в табл. 3.1.

Из приведенных в таблице данных видно, что все сплавы при охлаждении подвергаются расширению или сжатию (усадке). Сплавы, имеющие температуру плавления свыше 90 °С, при охлаждении подвергаются сжатию, а сплавы с температурой плавления ниже 90 °С — расширению. Для изготовления арматуры волноводов было выбрано два сплава: № 2 — сплав «Вуда» с содержанием висмута 50 % и № 6 — сплав «Розе» с содержанием висмута 52,5 %. Расширение (или усадка) этих сплавов при охлаждении составляет 0,5–2,5 %.

Свойства легкоплавких сплавов

Номер сплава	Содержание компонентов, масс, %				Температура плавления, °С	Твердость по Шору, отн. ед.	Плотность, г/см ³	Электропроводность, м/Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	Расширение или усадка		Примечание
	Свинец	Олово	Кадмий	Висмут					Р/У	%	
1	27,0	13,0	10,0	50,0	70	8	9,6	1,3	Р	-	-
2	25,0	12,5	12,5	50,0	69-71	10	9,5	2,3	Р	0,5-2,0	Сплав «Вуда»
3	36,5	19,0	9,5	35,0	90-100	12	9,6	2,2	У	-	-
4	40,2	-	8,2	51,6	92	6	10,4	1,5	У	-	-
5	40,0	-	15,0	45,0	92-100	9	10,2	2,3	У	-	-
6	32,0	15,5	-	52,5	90-100	9	9,7	1,5	У	0,8-2,5	Сплав «Розе»
7	28,0	22,0	-	50,0	95-100	10	9,5	1,9	У	-	-
8	40,0	15,0	-	45,0	95-100	10	9,9	1,4	У	-	-
9	33,4	33,3	-	33,3	95-140	11	9,1	1,9	У	-	-
10	-	26,0	20,0	54,0	103	18	8,6	4,1	У	-	-
11	-	42,0	-	58,0	188	19	8,1	4,0	У	-	-
12	-	60,0	-	40,0	138-170	19	8,0	4,1	У	-	-

Выбор эластичных материалов для изготовления эластичных моделей. Легкоплавкий сплав используется в модели как жесткая арматура, а точность и шероховатость поверхности обеспечивает эластичная оболочка, компенсирующая усадку арматуры.

Для изготовления эластичных форм, а также моделей для гальванопластики в отечественной и зарубежной практике используются кремнийорганические композиции, состоящие из низкомолекулярного силоксанового каучука, вулканизирующих агентов, катализаторов вулканизации и наполнителей. Подобные силиконовые эластомеры выпускаются в разных странах под различными фирменными наименованиями: эластомер, силастик, силастен, родофил (Франция), силастомер (Англия). Наибольшее распространение получили композиции RTV холодного отверждения фирмы «Wacker». Физико-механические характеристики этих композиций представлены в табл. 3.2.

Из аналогичных отечественных материалов наибольшее распространение получили каучуки марок СКТ, СКТВ-1 и СКТН. Отличительными свойствами силаксановых каучуков являются:

- высокая эластичность и гибкость в широком диапазоне температур (от -60 до $+300$ °С);
- высокие диэлектрические свойства ($\rho V = 10^{13} \div 10^{15}$ Ом · см);
- стабильность свойств при длительной эксплуатации в условиях резкого перепада температур и повышенной вибрации;
- нетоксичность, инертность, гидрофобность и газонепроницаемость;
- стойкость к действию растворов солей, разбавленных кислот и щелочей, некоторых минеральных масел;
- малая усадка.

Силаксановые каучуки обладают хорошими технологическими свойствами, они обеспечивают возможность создания заливочных композиций с коротким временем вулканизации.

Таблица 3.2

Технические характеристики эластичных материалов

Показатель	RTV-M400	RTV-M457	RTV-M533	RTV-M540	RTV-ME622
Плотность, кг/м ³	1300	1240	1160	1190	1170
Твердость по Шору, отн. ед.	23±3	40±3	25±3	38±3	28±3
Предел прочности при растяжении, Н/мм ²	2,0±0,3	3,0±0,3	5,0±0,5	5,5±0,5	4,5±0,5
Температурный коэффициент линейного расширения (в интервале температур, 0–150 °С), %	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Теплопроводность в интервале температур от 0 до 90 °С, Ом ⁻¹	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·см	–	$1,6 \cdot 10^{13}$	$6,1 \cdot 10^{14}$	$2,7 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$

На основе силаксановых каучуков созданы силиконовые компаунды КЛ-4, КЛТ-30, КЛСЕ (марки А и Б), КЛФ-20, КЛВАЕ-105, КЛС-30ФТ и низкомолекулярный привитой полистилорполисилаксановый сополимер «Стиросил». Физико-механические характеристики некоторых из этих композиций были при-

ведены в табл. 1.1. Приведенные в ней данные позволяют сделать вывод, что наиболее подходящим материалом для опрессовки модели является силиконовая композиция КЛСЕ.

Компаунд КЛСЕ представляет собой термостойкий, эластичный материал, получаемый смешением двух компонентов: пасты КЛСЕ и одного из катализаторов — К-10С либо К-1. Смешение компонентов осуществляется на месте потребления, при этом отверждение компаунда происходит при комнатной температуре. Компаунд КЛСЕ обеспечивает требуемую шероховатость поверхности и точность размеров модели, компенсирует усадку арматуры из легкоплавкого сплава. В зависимости от вязкости компаунд КЛСЕ выпускается двух марок — А и Б (табл. 3.3).

Компаунд КЛСЕ очень технологичен: легко лется, заполняя узкие щели, точно копирует поверхность. Кроме того, можно регулировать жизнеспособность композиции, используя разные соотношения компаунда КЛСЕ и катализатора К-1. Компаунд КЛСЕ готовится на основе жидких кремнийоргани-

Т а б л и ц а 3.3

Технические характеристики компаунда КЛСЕ

Показатель	Марка	
	А	Б
Внешний вид	Вязкотекучий материал красного цвета	
Условия вязкости по вискозиметру ВЗ-1, мин	10	20
Жизнеспособность с катализатором К-1, мин	40	40
Время полного отверждения, ч	24	24
Условная прочность при растяжении, НПа	0,98	1,96
Относительное удлинение в момент разрыва, %	80	80
Твердость по Шору, отн. ед.	35–55	45–60

ческих полимеров и представляет собой вязкотекучий материал красного цвета.

Для обеспечения адгезии между арматурой и эластичной оболочкой используется подслоя катализатора К-10С. Необходимость нанесения подслоя объясняется тем, что компаунд на основе низкомолекулярного силоксанового каучука СКТН достаточно прочно соединяется лишь со стеклом, силикатной эмалью и фарфором, что обусловлено сходством в составе и строении силикатных и кремнийорганических материалов. Используя в качестве подслоя катализатор К-10С, можно обеспечить адгезию полисилоксанового компаунда ко многим материалам, включая металлы.

Точность деталей, изготовленных по эластичным моделям. Наивысшую точность можно получить только по стальным моделям, выполненным ручной доводкой. Эластичные модели такую точность обеспечить не могут, так как на точность оказывает влияние ряд факторов: усадка и ее разброс в процессе вулканизации каучука, коэффициент теплового линейного расширения как каучука, так и легкоплавкого сплава, легкая деформируемость каучука.

Поскольку усадка КЛСЕ составляет в среднем 0,14 %, а ее разброс — от 0,08 до 0,2 %, то при толщине опрессованного слоя от 0,5 до 1,5 мм потеря точности вследствие усадки компаунда составляет около 2 мкм. Таким образом, точность эластичной модели определяется точностью изготовления оформляющих полостей пресс-формы. В связи с этим точность размеров оформляющих частей пресс-форм согласуется с точностью размеров волноводных каналов.

Легкая деформируемость каучука также оказывает влияние на точность получаемых деталей. Относительное удлинение каучука составляет около 80 %, а модуль упругости — 50 кгс/см², поэтому становятся опасными любые нагрузки на модель со стороны электролита или со стороны крепления ее в ванне, а также при подведении к ней токоподводов.

По этой причине при изготовлении точных деталей по эластичным моделям необходимо в самых ответственных местах армировать модель в процессе ее изготовления, завешивать в гальваническую ванну в специальных приспособлениях.

Поскольку каучук КЛСЕ очень точно передает микрорельеф любой поверхности, то шероховатость поверхности эластичных моделей соответствует шероховатости поверхности формы, в которой изготавливается эластичная модель. Однако точность модели может оказаться ниже заданной, если не учитывать значение коэффициента теплового линейного расширения, который у каучука КЛСЕ составляет $22 \cdot 10^{-5}$ 1/град, что почти в 20 раз больше, чем у стали. Поэтому любое колебание температуры модели может привести к изменению размеров детали. В связи с этим для получения деталей высокой точности необходимо, чтобы модель в процессе изготовления детали находилась при постоянной температуре.

Конструкция оснастки для изготовления эластичных моделей. В комплект технологической оснастки для изготовления эластичных моделей входят:

- форма для литья арматуры;
- форма для опрессовки арматуры слоем полисилоксановой композиции;
- разборные приспособления, обеспечивающие удобство эксплуатации оснастки.

Формы для литья арматуры должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать заполнение формообразующих полостей до полного формования арматуры;
- выбор материалов для изготовления формы и режимы литья должны обеспечивать получение арматуры без пузырей с шероховатостью поверхности не ниже $R_a = 2,5$;
- в форме должны быть заложены элементы для установки деталей, входящих в конструкцию эластичной модели;
- по плоскостям разъема формы должны быть предусмотрены вентиляционные каналы для удаления воздуха;

— форма должна быть удобной в эксплуатации и нетрудоемкой в изготовлении.

Формы применяются для отливки арматуры из легкоплавких сплавов (типа «Вуда» или «Розе»). Перед заливкой легкоплавкого сплава в форме устанавливаются все необходимые элементы: резьбовые втулки, вкладыши, предусмотренные в эластичной модели и обеспечивающие ведение технологического процесса. Так как точность размеров и шероховатость арматуры не влияют на параметры эластичной модели, к форме для литья не предъявляется высоких требований по геометрии. Точность изготовления формообразующих полостей формы соответствует II качеству; шероховатость поверхности $R_a = 3$, твердость 30–34 HRC.

Основная сложность в технологии заливки сплава состоит в том, что для получения качественной отливки, повторяющей геометрию заливочной формы, сплав должен сохранять температуру выше точки плавления до завершения процесса заливки, т. е. до полного заполнения формы. В случае выполнения формы из металла большой отвод тепла при заливке приводит к резкому остыванию сплава и незаполнению части рабочих полостей формы, а значит, к неполному оформлению арматуры. Предварительный подогрев формы перед заливкой требует дополнительных затрат времени как на сам подогрев, так и на остывание формы перед извлечением отливки. Легкоплавкий сплав должен застывать только при полном заполнении формы. В связи с этим для ряда деталей рекомендуется изготавливать формы из материалов с низкой теплопроводностью (например, из текстолита, эпоксидных смол).

Перегрев легкоплавкого сплава перед заливкой приводит к образованию пузырей, раковин. Перегретый сплав проникает в зазоры, форма перегревается, деформируется, ухудшается качество отливки. Изменение размеров и формы арматуры усложняет установку ее в пресс-форму для опрессовки полисилоксановой композицией.

Для удаления воздуха из рабочей полости по плоскостям разъема формы предусматриваются вентиляционные каналы глубиной 0,05 мм и шириной 5–10 мм.

Для удобства работы в формах применяются воронки, изготовленные из материалов с низкой теплопроводностью (например, эбонита, текстолита). Размеры заливочного отверстия выбираются в пределах 2–3 мм. Так как работа по заливке ведется в подогретых формах, для удобства необходимо предусматривать ручки и комплект разборных приспособлений. Если литниковая плита выполнена из текстолита, то заливочное отверстие можно формировать непосредственно в плите.

Для изготовления моделей сложной конфигурации переменного сечения, когда трудоемкость изготовления формообразующих элементов высока, экономически целесообразно применение пластмассовой оснастки для изготовления матриц форм. Технологический процесс изготовления пластмассовых форм приведен в работе [25].

На рис. 3.6 приведен пример конструкции технологической оснастки для литья арматуры из легкоплавкого сплава (модель изделия представлена на рис. 3.1, д).

Формы для опрессовки арматуры должны удовлетворять следующим требованиям:

— обеспечивать точность размеров и шероховатость поверхности модели в соответствии с требованиями чертежа изделия (+0,05 мм; $R_a = 0,4$).

— литниковые каналы и толкатели для съема модели не должны располагаться на рабочей поверхности модели;

— по плоскостям разъема формы должны быть предусмотрены вентиляционные каналы для удаления воздуха и избытка компаунда;

— форма должна быть удобной в эксплуатации и нетрудоемкой в изготовлении;

Для прессования моделей применяются съемные ручные формы прямого и литьевого прессования.

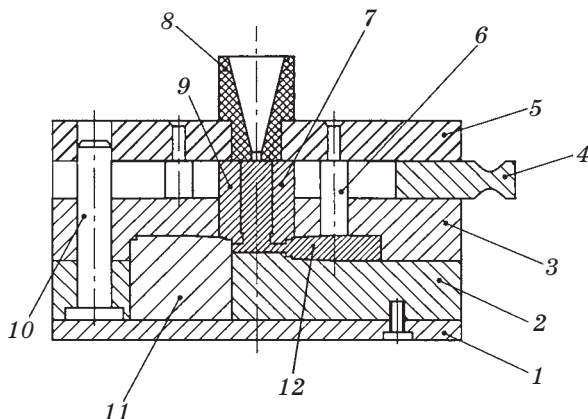


Рис. 3.6. Форма для литья арматуры из легкоплавкого сплава:
 1 — плита подкладочная; 2 — основание; 3 — матрица;
 4 — вилка; 5 — плита литниковая; 6 — выталкиватель;
 7, 9 — вкладыши; 8 — воронка; 10 — колонка; 11 — стержень; 12 — арматура

В пресс-формах прямого прессования не всегда удается получить точный размер по высоте прессуемой модели, поэтому их рекомендуется использовать для моделей невысокой точности. Так как точность размеров волноводного канала задана на уровне $+0,05$ мм, для изготовления моделей рекомендуется использовать пресс-формы литейного прессования.

Точность размеров опрессованной эластичной модели определяет точность размеров волноводного канала, поэтому формообразующие элементы изготавливаются с более высокой точностью (например, для размера волноводного канала $10 + 0,05$ размер в пресс-форме закладывается $(10,03 + 0,02)$). Параметры формообразующих элементов пресс-формы: шероховатость поверхности $R_a = 0,1$; твердость 42–46 HRC.

При проектировании пресс-формы следует учитывать процесс извлечения из нее готовой модели [26]. Толкатели, используемые для извлечения модели, не должны располагаться на рабочей поверхности пресс-формы. В случае сложной конфигурации мо-

дели и большой площади контакта эластичной оболочки с рабочими поверхностями пресс-формы извлечение модели затруднено из-за большого трения между компаундом и вертикальными стенками. Для таких конструкций предусматриваются разборные элементы, которые устанавливаются в пресс-форму с зазором не более 0,02 мм.

Рабочая площадь камеры прессования выбирается на 20–25 % больше площади проекции модели. Так как полисилоксановая композиция обладает хорошими литьевыми свойствами, литьевое отверстие выбирается в пределах 2–3 мм для равномерного затекания компаунда в рабочую полость формы. Чтобы избежать появления в модели пузырей, утяжек от недопрессовки, по плоскости разъема для удаления воздуха выполняются вентиляционные каналы глубиной 0,03 мм в местах, где при отработке режимов прессования появляются пузыри.

Для прессования моделей сложной формы экономически целесообразно применить пластмассовые или гальванопластмассовые пресс-формы.

Технологическая оснастка проектируется индивидуально на каждый тип изделия. Она включает в себя формы для литья арматуры, пресс-формы для прессования эластичной модели, а также оправки для гальванопластического наращивания и заглушки. Оснастка должна обеспечивать получение моделей, соответствующих требованиям чертежа.

На рис. 3.7 показана пресс-форма для формования арматуры полисилоксановым компаундом.

Технологический процесс изготовления эластичных моделей. Данный технологический процесс состоит из нескольких этапов. Структурная схема процесса изготовления эластичных моделей представлена на рис. 3.8.

Арматуру из легкоплавкого сплава отливают методом свободной заливки, при этом сплав предварительно расплавляют в термошкафу, а затем заливают в форму, разогретую до температуры 40–55 °С. Температура нагрева легкоплавкого сплава перед залив-

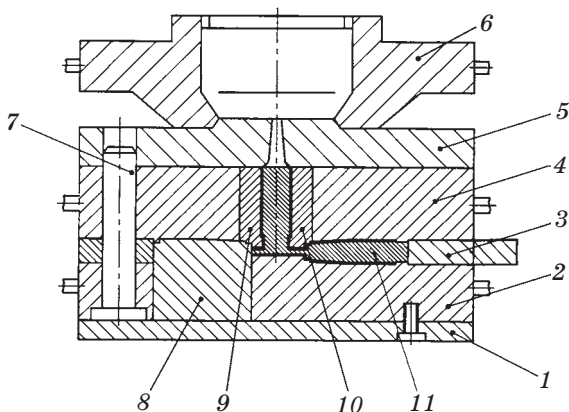


Рис. 3.7. Съемная прямоугольная пресс-форма для опрессовки арматуры полисилоксановым композитом:

1 — плита подкладочная; 2 — основание; 3 — вилка; 4 — матрица; 5 — плита литниковая; 6 — камера прессования; 7 — колонка; 8 — стержень; 9, 10 — вкладыши; 11 — модель

кой обрабатывается при испытании каждой формы. После остывания арматуру извлекают из формы, затем выполняют доводочные операции: зачищают литник, производят контроль по внешнему виду.

Для проведения опрессовки в предварительно очищенную матрицу вставляют отлитую арматуру и

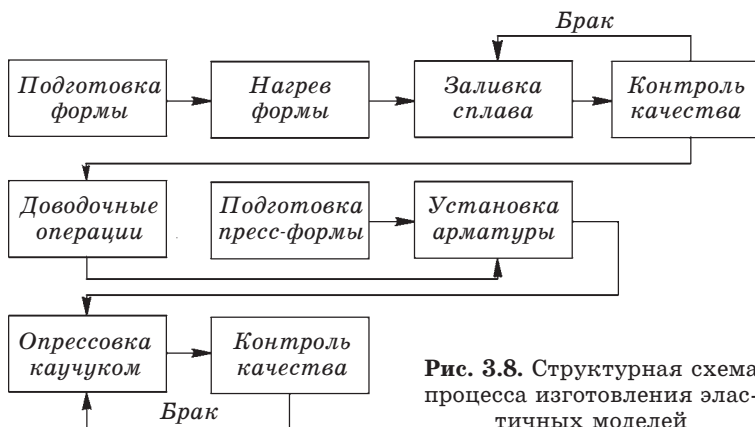


Рис. 3.8. Структурная схема процесса изготовления эластичных моделей

заливают компаундом следующего состава: компаунд КЛСЕ — 100 вес. ч.; катализатор К-1 — 4 вес. ч.

Через 20–25 мин, когда композиция начинает желироваться, пресс-форму закрывают, помещают на основание прессы и проводят опрессовку с давлением 100–200 МПа так, чтобы через выпора постепенно выдавливался избыток композиции, затем пуансон додавливается до ограничителя, фиксирующего размер. Давление не снимают в течение 2 ч. После этого модель извлекают из матрицы и осуществляют контроль по внешнему виду: поверхность не должна иметь дефектов, неровностей и отвечать требованиям чертежа.

3.3. ЭЛЕКТРОЛИТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ ВОЛНОВОДОВ ИЗ МЕДИ

Для изготовления волноводов применяют такие металлы, как латунь, медь, бронза, алюминий, титан. Однако гальванопластическое осаждение практически всех перечисленных металлов, кроме меди, невозможно.

В связи с этим метод гальванопластического осаждения меди для изготовления волноводов используется достаточно широко. Одной из важнейших задач гальванопластики является интенсификация процесса осаждения.

Скорость осаждения повышают главным образом за счет использования специального оборудования с принудительной прокачкой электролита через зону осаждения. Однако это усложняет и удорожает процесс, а главное ограничивает ассортимент деталей, изготавливаемых гальванопластическим методом. Одним из методов, повышающих скорость осаждения, является применение электролита, позволяющего вести процесс при больших плотностях тока с высокой скоростью осаждения.

Существующие электролиты меднения подразделяются по своему составу на щелочные и кислые. В галь-

ванопластике для осаждения меди наиболее широко применяются кислые электролиты, в первую очередь, сернокислые и сульфаматные.

Сернокислые электролиты меднения характеризуются простотой состава, устойчивостью в эксплуатации и высоким выходом по току (98–100 %). Основными их недостатками являются низкая рассеивающая способность по сравнению со щелочными электролитами, невозможность непосредственного осаждения меди на сталь вследствие выпадения контактной меди, чувствительность к малейшим органическим примесям.

Сернокислый электролит меднения имеет следующий состав:

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	.....	150–250
Серная кислота H_2SO_4 , г/л	.....	50–70
Температура t , °C	.....	18–20

Для наращивания толстых слоев меди (0,5–3,0 мм) допустимая плотность тока составляет 1–2 А/дм². При этом скорость наращивания составляет 3–5 мкм/ч; при ведении интенсивного перемешивания можно повысить плотность тока до 3–5 А/дм².

Аноды рекомендуется использовать с добавлением фосфора марки АМФ, растворяющиеся в электролите бесшламно. Микротвердость осадков меди, полученных из данного электролита, составляет 80–120 кг/мм².

Сульфаматные электролиты меднения [$\text{Cu}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$ — сульфамат меди) практически лишены всех перечисленных выше недостатков сернокислых электролитов.

Известно, что концентрированные сульфаматные электролиты меднения имеют значение предельного тока (ток, близкий к значению тока диффузии ионов) в два раза выше, чем в сернокислых электролитах той же концентрации. Увеличение значений предельного тока связано с тем, что в кислых сульфаматных растворах сульфаминовая кислота, в отличие от серной кислоты, не может обеспечить до-

статочный фон для того, чтобы можно было не учитывать миграционную составляющую переноса. Одновременно на увеличение скорости осаждения (повышение предельного тока) влияют такие параметры, как концентрация ионов меди, концентрация сульфаминовой кислоты, температура раствора и различные добавки.

С увеличением концентрации сульфамата меди скорость осаждения меди увеличивается. При этом повышается значение предельного тока. Установлено, что изменение концентрации сульфаминовой кислоты и, как следствие, рН раствора, практически не влияет на скорость осаждения меди, а повышение температуры, наоборот, приводит к значительному увеличению скорости осаждения меди из раствора. Поэтому для наращивания слоев меди большой толщины с большей скоростью был разработан сульфаматный электролит следующего состава:

Сульфамат меди $\text{Cu}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л 240–260
Сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$, г/л 50–60

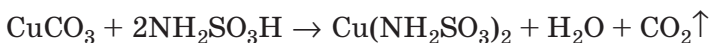
При этом кислотность полученного электролита рН составила 1,0–1,5, оптимальная температура — 25–30 °С.

Однако при работе в электролите меднения данного состава с большими плотностями тока по контуру наращиваемых деталей начинает происходить процесс дендритообразования. Для устранения этого недостатка в состав электролита вводится добавка пиррофосфата калия и происходит адсорбция анионов пиррофосфата на поверхности катода. При частичном экранировании поверхности катода адсорбированными ионами пиррофосфата перераспределяется ток на поверхности катода, вследствие чего почти полностью устраняется явление дендритообразования. Так как при введении пиррофосфата в сульфаматные электролиты меднения происходит поверхностная адсорбция, концентрация добавки может быть невелика и колебаться в пределах от 2,5 до 5,0 г/л. Следует отметить, что адсорбционный характер действия

пирофосфата не позволяет рекомендовать проведения электролиза при температурах более 40 °С. В результате для наращивания медных осадков толщиной до 8,0 мм был выбран электролит следующего состава [27]:

Сульфамат меди $\text{Cu}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л	240–260
Пирофосфат калия $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, г/л	2,5–5,0
Кислота серная H_2SO_4 , г/л	80–100
pH	0,3–0,8
Температура t , °С	22–30
Катодная плотность тока D_k , А/дм ² :	
без перемешивания	2,0–4,0
с перемешиванием	4,0–8,0

Приготовление и корректировка сульфаматного электролита меднения. Сульфамат меди выпускается в виде 30% -ного раствора. В то же время сульфамат меди можно приготовить путем растворения углекислой меди марки ХЧ в сульфаминовой кислоте по реакции



Лучше всего использовать сульфамат меди промышленного производства. Приготовление электролита сульфаматного меднения происходит следующим образом. Расчетное количество серной кислоты разбавляют водой в соотношении 1:1. В ванну заливают необходимое количество сульфамата меди и при непрерывном перемешивании тонкой струйкой вливают разбавленную серную кислоту. Весь объем доводят до нужного уровня. Полученный электролит тщательно перемешивают и измеряют значение pH. При необходимости снижают значение pH серной кислотой. После установления pH в раствор вводят расчетное количество пирофосфата калия (допускается замена пирофосфата калия на пирофосфат натрия). Затем электролит нагревают до температуры 30–35 °С, добавляют 33% -ную перекись водорода из расчета 3 мл/л и выдерживают при интенсивном перемешивании не менее 24 ч. Раствор

Т а б л и ц а 3.4

Способы устранения дефектов при электроосаждении меди

Характер дефектов	Возможные причины	Способ устранения
Грубая, крупнокристаллическая структура покрытия	Недостаток кислоты или избыток сульфата меди Высокая плотность тока	Добавить в электролит серную кислоту Снизить плотность тока
Покрытия с мелкими наростами и дендритами	Недостаток пирофосфата калия	Добавить пирофосфат калия
Темное шероховатое покрытие	Попадание закиси меди в покрытие	Добавить в электролит серную кислоту
Шероховатое покрытие	Загрязнение электролита химическими примесями	Отфильтровать электролит
Темные полосы на покрытии	Наличие сурьмы в электролите	Проработать электролит током. Проверить аноды и серную кислоту на содержание сурьмы
Покрытие хрупкое, с темными пятнами	Недостаток серной кислоты в электролите. Высокая плотность тока	Добавить серную кислоту Снизить плотность тока
Непрочное порошкообразное покрытие	Недостаточное содержание серной кислоты или сульфата меди в электролите	Добавить сульфат меди и серную кислоту
Черные и коричневые полосы на слое осажденной меди	Загрязнение электролита примесями железа	Проработать электролит при повышенной плотности тока

Физико-механические свойства осадков меди

Плотность тока, А/дм ²	Предел прочности, кг/мм ²		Относительное удлинение, %		Микротвердость, кг·с/мм ²		Микроструктура	
	до термобработки	после термобработки	до термобработки	после термобработки	до термобработки	после термобработки	до термобработки	после термобработки
1	26,0	25,0	23	34,0	45,0	43,0	Мелкозернистая столбчатая	Рекристаллизованная крупнозернистая
2	24,6	22,6	21	37,7	67,0	65,0		
3	22,0	21,0	10	27,7	59,0	55,0	Грубая крупнозернистая столбчатая	Нерекристаллизованная
4	22,8	22,0	23	37,7	62,0	60,0		Слабо выраженная рекристаллизация
5	24,2	23,5	25	41,3	69,0	65,5		
6	20,0	19,0	32	45,0	58,0	56,0	Столбчатая среднезернистая	Неполная рекристаллизация
8	16,0	15,8	31	43,5	46,5	44,6		

линения осадков с крупнокристаллической структурой. Однако следует отметить, что после термообработки пластичность осадков резко увеличивается. Пластичность осадков, полученных в сульфаматном электролите, составляет 10–45 %. Это связано с тем, что при термообработке уменьшается размер зерна.

Структура медного осадка, полученного из сульфаматного электролита с добавками пиррофосфата калия, — столбчатая, причем размер зерна зависит от значений плотности тока. Столбчатая структура медного осадка приводит к появлению зон несращивания осадка в углах ступенчатого перехода. В результате термообработки медных осадков столбчатой структуры с мелким и средним размером зерна наблюдается рекристаллизация структуры, форма зерна меняется от столбчатой к круглой и устраняется зона несращивания. Данного эффекта не удастся достичь при термообработке медных крупнозернистых осадков, так как в этом случае не происходит рекристаллизации структуры. На основании приведенных данных видно, что физико-механические свойства осадков меди, полученных из сульфаматного электролита, не уступают по физико-механическим свойствам осадкам меди, полученным из сернокислого электролита. Вместе с тем скорость наращивания в сульфаматном электролите превышает скорость наращивания в сернокислом электролите в 2,5–3,0 раза, а высокая рассеивающая способность позволяет получать более равномерные по толщине осадки меди.

3.4. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛНОВОДОВ

К волноводам, изготовленным методом гальванопластики, предъявляется ряд технических требований. Так, конструктивные размеры волноводов должны соответствовать требованиям рабочих черте-

жей. Геометрические размеры канала волновода должны находиться в пределах 2–5-го классов точности. Шероховатость токонесущих поверхностей волновода оговаривается в чертежах и не должна быть грубее $R_a = 0,8$.

Допускаются волнистость поверхности в канале волновода, не выводящая размер канала за пределы допуска, раковины в виде вкраплений на поверхности канала при условии сохранения заданных электрических параметров волновода. Эти данные указываются в чертежах или технических условиях на волновода. Процент выхода годных изделий должен составлять не менее 95 %.

На рис. 3.9 представлена схема технологического процесса изготовления волнопроводов методом гальванопластики.

Операции 1 и 2. Описаны в разделе «Технологический процесс изготовления эластичных моделей».

Операция 3. Эластичную модель, извлеченную из матрицы, зачищают; проверяют размеры; монтируют токоподвод; изолируют неопрессованные места арматуры изолирующими заглушками.

Операция 4. Каучук КЛСЕ (из которого изготовлена эластичная модель) металлизирована всеми известными способами. В качестве токопроводящего слоя чаще всего используют графит марки ГС или графит с серебром (4 г азотнокислого серебра растворяют в 1 л воды, добавляют 100 г графита и 10 мл спирта; все тщательно перемешивают; затем выпаривают воду и полученную смесь прокалывают в муфельной печи при температуре 600–700 °С). Нанесение графита на рабочую поверхность эластичной модели осуществляется с помощью кисти до появления металлического блеска. Избытки графита удаляются в холодной проточной воде или сжатым воздухом. После нанесения токопроводящего слоя производят визуальный контроль качества (на рабочей поверхности модели не должно быть мест, не покрытых графитом).

Операция 5. Для электроосаждения первичного слоя модель с нанесенным токопроводящим слоем

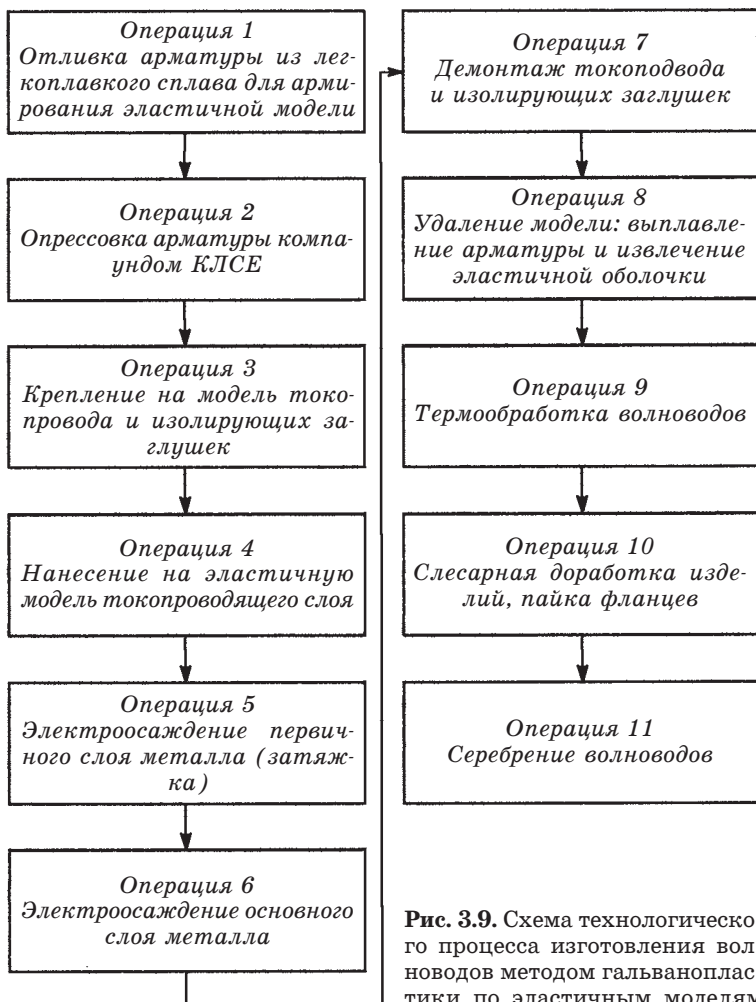


Рис. 3.9. Схема технологического процесса изготовления волноводов методом гальванопластики по эластичным моделям

опускают в гальваническую ванну следующего состава:

Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	140–160
Кислота серная H_2SO_4 , г/л	10–15
Спирт этиловый $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, г/л	20–30
Температура t , °С	18–20
Катодная плотность тока D_K , А/дм ²	1–2

Толщина первичного слоя составляет от 10 до 15 мкм. После нанесения первичного слоя производится визуальный контроль качества (покрытие должно быть сплошным, без шелушений и растрескиваний).

Операция 6. Для электроосаждения основного слоя модель с нанесенным первичным слоем опускают в гальваническую ванну следующего состава:

Сульфат меди $\text{Cu}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л	240–260
Пирофосфат калия $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, г/л	2,5–5,0
Кислота серная H_2SO_4 , г/л	80–100
Температура t , °С	22–30
Катодная плотность тока D_k , А/дм ²	1–4

Толщина основного слоя составляет от 0,5 до 3,0 мм. После электроосаждения основного слоя модель промывают в холодной проточной воде и сушат при комнатной температуре. Далее осуществляют визуальный контроль качества (на гальванопластическом осадке не должно быть трещин, отслаиваний, вздутий и рыхлости осадка) и определяют толщину медного слоя. Допускается разброс по толщине на плоскостях до 25 %, а на отдельных участках (в прямых углах, углублениях и узких щелях) до 50 %.

Операция 7. Производят демонтаж токоподводов, изолирующих заглушек и удаляют с технологических концов наросты осадка меди.

Операция 8. Модель с электроосажденным слоем помещают в сушильный шкаф так, чтобы легкоплавкий сплав стекал вниз, не попадая на внутренние и наружные поверхности волновода. Выплавляют арматуру в следующем технологическом режиме: температура — 140–160 °С, время — 15–30 мин. После этого из остывшего волновода извлекают эластичную оболочку механическим путем (пинцетом) либо пневматическим (вакуумом), затем каналы волновода продувают сжатым воздухом и осуществляют визуальный контроль качества (в канале волновода допускается волнистость поверхности в пределах допусков, на внутренней поверхности волновода

не должно быть вздутий, растрескиваний, механических повреждений).

Операция 9. Перед операциями термообработки волновод обезжиривают препаратом «Пентамаш-3» при температуре 40–50 °С в течение 3–15 мин. После этого производится операция травления в 50%-ной серной кислоте при температуре 15–25 °С в течение 0,3–0,5 мин. Затем волновод помещают в вакуумную печь со степенью вакуума 1330 Па. Температуру в печи повышают на 50 °С через каждые 30 мин и доводят ее до температуры 480 °С, выдерживая при этой температуре 30 мин. Затем волновод охлаждают вместе с печью. Далее производится визуальный контроль качества (не допускаются вздутия и трещины, поверхности волноводов должны быть без цветов побежалости и участков черного цвета).

Операция 10. После термообработки следует слесарная доработка волновода (убираются заусенцы, устанавливаются фланцы и производится их пайка высокотемпературными серебряными припоями). Затем волноводы проверяют на герметичность.

Операция 11. Серебрение волноводных каналов осуществляется в электролите следующего состава:

Серебро (по металлу) AgNO_3 , г/л	.....	20–30
Калий цианистый KCN, г/л	.....	20–40

Электроосаждение серебра осуществляют при температуре 18–30 °С, при катодной плотности тока 0,3–1,5 А/дм². Затем для защиты поверхности серебра от потемнения ее обрабатывают в растворе, содержащем хромовокислый калий (100–150 г/л), углекислый натрий (1–2 г/л) при температуре 18–20 °С и плотности тока 4–8 А/дм² на аноде в течение 5–15 мин. Полученная таким способом защитная пленка не изменяет внешнего вида серебряного покрытия и его физических свойств.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТОВ И ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ

4.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТОВ

В настоящее время при получении формообразующих элементов пресс-форм и штампов, сложного профиля, а также деталей сложного профиля широко применяется эрозионная обработка. Эрозионная обработка позволяет получить сложный профиль непосредственно в металлической основе. Получение электрод-инструмента механическим способом имеет ряд существенных недостатков:

высокая стоимость, связанная с применением дорогостоящего оборудования; невозможность получить идентичные электрод-инструменты (черновые и чистовые), так как изготовление их зависит от полей допусков на их изготовление.

Изготовление электрод-инструментов методом гальванопластики значительно дешевле, а также позволяет размножить идентичные электрод-инструменты с одной модели любой сложности и с высокой степенью точности.

Требования к моделям. Модели применяются для изготовления матриц с последующим получением в них электрод-инструментов или непосредственно для изготовления электрод-инструмента. Модели для изготовления матриц электрод-инструментов могут быть выполнены из металла и неметаллических материалов (различных пластмасс, гипса, пластилина, воска и т. д.).

Металлические модели непосредственно используются для получения матриц и должны иметь базовые элементы, которые затем переносятся на матрицу. При изготовлении этих моделей должна учи-

тываться усадка материала матрицы и литьевого материала. Точность и шероховатость модели должна быть выше точности и шероховатости получаемого электрод-инструмента. Модели должны быть выполнены с учетом толщины электрода, снабжены специальной оснасткой для непосредственного наращивания на них осадка и его съема.

Модель, изготовленная из неметаллических материалов, является промежуточной для получения промежуточной мастер-модели путем использования ее для получения матрицы, выращивания в ней модели из меди или никеля, доработки и дальнейшего пересъема для получения матрицы электрод-инструмента. Доработка промежуточных мастер-моделей для получения основных моделей производится механическим способом. Для неотчетственных изделий и изделий малой точности можно получать непосредственно матрицы электрод-инструментов с этих моделей без промежуточных стадий.

Изготовление матриц электрод-инструментов. Матрица электрод-инструментов по модели может быть изготовлена из полимерных композиций или методом гальванопластики. Для изготовления матрицы электрод-инструмента используют полимерные композиции типа КЛСЕ, П-752, П-750.

На подмодельной плите устанавливают и закрепляют модель. Для обеспечения базовых элементов изготавливаемой матрицы предусматривается установка на подмодельной плите переходных технологических баз, выставленных с необходимой точностью относительно установленной модели с помощью дополнительной оснастки, а также мест крепления токопроводящих устройств. Эти переходные технологические базы формируют в электрод-инструменте базовые элементы, относительно которых может производиться механическая обработка. Затем на подмодельную плиту устанавливают опоку из любого материала. Пластином или расплавленным воском тщательно заделывают все щели между установленной опокой и подмодельной плитой.

Для неответственных работ на подмодельную плиту устанавливаются модель и опока. При вращивании базовых элементов электрод-инструмента в осадок к матрице предъявляются особые требования, связанные с точной установкой вращиваемого базового элемента (рамки, оправок) относительно модели и подмодельной плиты, так как после заливки матрицы необходимо изъять модель и снова установить вращиваемый базовый элемент в матрицу на то же место, обеспечив необходимое совмещение с оттиском модели.

Приготовление полимерной композиции и ее заливка в форму производятся так же, как и при тиражировании формообразующих пресс-форм.

Гальванопластические матрицы. Изготовление таких матриц производится следующим образом. По модели изготавливается полимерная матрица, в которой методом гальванопластики изготавливается модель с базовыми элементами. Полученную модель дорабатывают и с помощью дополнительной оснастки изготавливают методом гальванопластики гальванопластическую матрицу с элементами базирования и съема готовых электрод-инструментов. Гальванопластическая матрица может изготавливаться методом гальванопластики непосредственно на металлической модели с соответствующей оснасткой.

Матрица из металлополимерных композиций. Матрицы могут быть изготовлены из эпоксидных смол холодного отверждения (ЭД-20 или ЭД-22) с наполнителями из медного порошка или карбонильного железа. Матрицы могут быть разрушаемые или разборные. В процессе изготовления в такие матрицы можно устанавливать различные металлические базовые и крепежные элементы. Разборные матрицы должны иметь точное сопряжение отдельных частей при их стыковке, а также надежные токоподводящие устройства. Металлические части таких матриц, расположенные в разных ее частях, должны быть соединены между собой металлическими перемычками.

Нанесение токопроводящих слоев. Токопроводящий слой на поверхность матрицы можно наносить двумя способами:

1. Механический способ предполагает нанесение на поверхность матрицы графита, специальных токопроводящих паст и лаков. Он применяется в тех случаях, когда поверхность матрицы не имеет глубоких и узких щелей, малых отверстий, мест, куда кистью подобраться очень трудно. Перед нанесением токопроводящего слоя поверхность матрицы обезжиривается ацетоном. После высыхания рабочей поверхности мягкой кистью втирается графит. Остатки графита удаляются с поверхности сжатым воздухом или струей воды. Матрицы визуально просматриваются. Если обнаруживаются места, недостаточно покрытые, графит наносят повторно. Лучше всего использовать графит марки ГС-2. Токопроводящие пасты (на основе бронзы) наносятся на поверхность следующим образом. Небольшое количество пасты растворяется в небольшом количестве бензина (в соотношении 1 : 2). Все перемешивается до однородной массы и мягкой кистью наносится на рабочую поверхность матрицы. Производится визуальный контроль, непокрытые места подмазываются. Токопроводящий лак наносится на поверхность также мягкой кистью, тщательно промазывая рельеф. Из многообразия токопроводящих лаков для гальванопластики лучше всего использовать лак марки ХС-630. Контроль качества покрытия производится визуально после высыхания лака. В случае необходимости операцию следует повторить.

2. Химический способ включает в себя нанесение на поверхность матрицы токопроводящего слоя из растворов химического меднения, серебрения. Подробно эти процессы описаны в разделе «химическое нанесение токопроводящего слоя».

После нанесения токопроводящего слоя матрицу опускают в гальванопластические ванны для осаждения меди.

4.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применение фотополимерных материалов в гальванопластике — прогрессивный метод формообразования, который позволяет изготавливать сложнопрофильные плоские детали любой конфигурационной сложности при значительно меньших затратах, чем при использовании таких традиционных методов, как безззорная штамповка, электроэрозия, химическое травление. В некоторых случаях прецизионные детали можно изготовить только методом гальванопластики по фотополимерным матрицам. Предложенная технология получения сложнопрофильных деталей (например, решеток диафрагм, кодирующих дисков, мембран, роторных пластин) электроформованием их на фотополимерных матрицах позволяет в мелкосерийном и единичном производстве отказаться от затрат на проектирование и изготовление дорогостоящих вырубных штампов и перевести технологию на безотходную. В данном случае коэффициент использования цветных металлов значительно выше, чем при штамповке, ввиду того, что при вырубке на штампах деталей большая часть материала переходит в отходы.

Технология изготовления плоских деталей методом гальванопластики с использованием фотополимерных матриц заключается в электролитическом осаждении металлов и сплавов на фотополимерные матрицы, помещаемые в гальваническую ванну в качестве катода. Фотополимерная матрица представляет собой металлическое основание с нанесенным на него трафаретным фотополимерным слоем. Трафаретный фотополимерный слой на металлической подложке служит для обеспечения локального воздействия электролита на токопроводящее металлическое основание (подложку). При этом происходит

избирательное, локальное, электролитическое осаждение металлов или сплавов из электролитов на незащищенное фотополимерным слоем токопроводящее основание.

При изготовлении фотополимерных матриц для электроосаждения сложнопрофильных тонколистовых деталей толщиной до 200 мкм наилучшей совокупностью свойств обладают сухие пленочные фоторезисты [28]. Этот трехслойный материал состоит из светочувствительного, защитного (полимерная пленка, прозрачная к ультрафиолетовому излучению) и несущего (гибкая полимерная пленка) слоев. Применяются следующие сухие пленочные фоторезисты: ТФПК, СПФ-АС-1, СПФ-2, проявка которых осуществляется органическими растворителями. Но наиболее технологичным является фоторезист СПФ-ВЩ-2, так как он проявляется 5%-ным водным раствором бикарбоната натрия.

Технологический процесс состоит из следующих операций:

- изготовление фотошаблона;
- изготовление металлических подложек;
- подготовки подложек;
- нанесение фоторезиста;
- экспонирование;
- проявление формообразующего рисунка;
- подготовка фотополимерной матрицы и изготовление деталей электролитическим осаждением металла;
- съем деталей;
- проверка качества деталей.

По чертежу детали фотографированием оригинала в репродукционной камере на фототехническую пленку изготавливают фотошаблон (негатив). Для деталей с различной конфигурационной сложностью и площадью должны быть изготовлены самостоятельные фотошаблоны.

Фотошаблоны должны отвечать следующим требованиям: изображение должно быть резким и четким по всей площади фотошаблона; фон на фото-

шаблоне должен быть равномерно плотным, не должно быть вуали, желтизны, посторонних прозрачных и непрозрачных точек, царапин; оптическая плотность должна составлять $\leq 0,05$ в пробелах и $\geq 3,5$ в затемненных участках. Подложку (основание фоторезистивной матрицы) изготавливают из коррозионно-стойкой стали марки 12X18H10T, на поверхности которой всегда присутствует естественная окисная пленка, благодаря чему исключается сцепление электролитического осадка с подложкой и достигается легкое отделение детали от подложки. Толщина подложки должна быть 2–3 мм, отклонение от неплоскостности $\leq 0,03$ мм, шероховатость рабочей поверхности $R_a = 0,8$ мкм.

Для увеличения сцепления фоторезиста с подложкой ее поверхность подготавливают: последовательно обезжиривают, механически и химически обрабатывают [29]. Подложку обезжиривают в растворе, состоящем из 10 г/л кальцинированной соды, 30 г/л тринатрийфосфата и 10 г/л моющего вещества «Пентамаш-2», в течение 10 мин. После промывки в горячей и холодной воде (по 2 мин в каждой) проводят обработку подложки водной суспензией, состоящей из 200 г/л микрошлифпорошка М-20 и 30 г/л кальцинированной соды, в течение 5 мин. После промывки подложки в проточной холодной воде ее поверхность фосфатируют путем натирания препаратом «Мажеф». Затем подложку промывают в дистиллированной воде и сушат в электрошкафу до полного удаления влаги при температуре 90–100 °С.

На подготовленную таким образом подложку наносят сухой пленочный фоторезист. Наносят фоторезист при неактивном освещении — при температуре валков 105 ± 5 °С и скорости движения подложки от 0,1 до 1,2 м/мин (в зависимости от толщины фоторезиста). Для деталей толщиной до 25 мкм применяют сухой пленочный фоторезист марки СПФ-ВЩ-2-25, а при толщине от 25 до 50 мкм — марки СПФ-ВЩ-2-50. Для получения деталей толщиной от 50 до 200 мкм также используют фоторе-

зист марки СПФ-ВЩ-2-50, при этом требуемую толщину получают послойным нанесением нескольких слоев фоторезиста (толщина каждого слоя 50 мкм). При послойном нанесении фоторезиста с каждого его слоя удаляют полиэтиленовую основу, кроме последнего (верхнего) слоя, на котором оставляют полиэтилентерефталатную пленку. После нанесения последнего слоя выдерживают подложку при неактивном освещении при температуре 18–25 °С в течение 30 мин. Затем накладывают фотошаблон эмульсионной стороной к подложке с нанесенным фоторезистом, совмещают их по базовым отверстиям и помещают в установку экспонирования. Время экспонирования зависит от мощности и спектрального состава источника излучения, расстояния от него, состава и толщины светочувствительного слоя, сложности профиля детали, состояния поверхности подложки. В каждом конкретном случае оптимальное время устанавливается опытным путем. После окончания экспонирования демонтируют заготовку и фотошаблон и выдерживают ее в темноте при температуре 18–25 °С в течение 30 мин (для завершения фотохимической реакции). Проявление необлученных участков пленки фоторезиста (с которой предварительно удалена полиэтилентерефталатная пленка) проводят на установках травления печатных плат в водном растворе, содержащем 10–25 г/л кальцинированной соды, 3–4 г/л пеногасителя АС-60, при температуре 18–25 °С в течение 1,5–2,5 мин. Оптимальное время устанавливается опытным путем.

Качество полученного формообразующего рисунка деталей проверяют на микроскопе при 25–30-кратном увеличении. Для повышения гальваностойкости полученных фоторезистивных матриц их следует подвергнуть термообработке в сушильном шкафу при температуре 120–140 °С в течение 60–30 мин [28]. Подготовленную таким образом к работе матрицу передают на гальванопластический участок для электроосаждения металла. Для этого фоторезистивную матрицу и токоподвод закрепляют между двумя ди-

электрическими рамками через резиновые прокладки и тщательно обезжиривают в водном растворе препарата ОС-20 концентрацией 25–30 г/л при комнатной температуре в течение 1–2 мин. Затем матрицу промывают в холодной проточной воде и завешивают в гальванопластическую ванну никелирования следующего состава:

Никель сульфаминовокислый $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$, г/л	340–360
Никель двухлористый NiCl_2 , г/л	10–15
Кислота борная H_3BO_3 , г/л	30–35
Кислота α -аминоуксусная, г/л	0,6–1,0
Температура электролита, °С	45–50

Электросоосаждение металлов на фоторезистивные матрицы осуществляется при меньших значениях плотности тока, чем в обычной гальванопластике при изготовлении формообразующих элементов пресс-форм. Это происходит потому, что в углублениях формообразующей фоторезистивной матрицы скорость движения электролита меньше, чем на плоских и выпуклых поверхностях. При этом значение рабочего тока осаждения также снижается. На практике рабочая плотность тока при осаждении плоских деталей в 1,5–2,0 раза ниже, чем при изготовлении формообразующих элементов пресс-форм, и составляет 0,5–2,0 А/дм². При увеличении толщины детали и уменьшении ее размеров рабочая плотность тока снижается. По тем же причинам при изготовлении плоских деталей увеличивается краевой эффект и получать крупногабаритные детали со строгим допуском на толщину становится крайне трудно. Кроме того, процесс осаждения на фоторезистивные матрицы сам по себе обладает некоторыми особенностями.

1. Фоторезист СПФ-ВЩ-2 является в основе бутилированной стиромалью щелочного характера. Это обуславливает быстрое подщелачивание электролита в процессе осаждения, зависящее от количества загруженных фоторезистивных матриц. В связи с этим электролит необходимо подкислять раствором

сульфаминовой кислоты через определенное время после начала осаждения. При осаждении никеля следует корректировать значение pH электролита 1 раз в 4 ч при загрузке матриц 0,25–0,50 дм² фоторезиста на 1 литр электролита. При меньшей загрузке матриц время между корректировками увеличивается пропорционально уменьшению загрузки.

2. При длительной работе электролита с фоторезистивными матрицами происходит вымывание его составляющих, что приводит сначала к резкому увеличению внутренних напряжений растяжений в осадке, а потом — к питтингу. Для предотвращения этого необходимо периодически добавлять в электролит 2–3 г/л перекиси водорода и перемешивать электролит в течение 24 ч. Перекись водорода необходимо добавлять один раз в 7 суток при плотности загрузки матриц фоторезистом 0,25–0,50 дм² на 1 л электролита. В связи с тем, что внутренние напряжения в осадках увеличиваются, их нужно измерять перед каждым завесом матриц на образцах-свидетелях. Внутренние напряжения должны быть в пределах от 0 до +50 МПа.

Для равномерного распределения металла на поверхности матрицы при электролитическом осаждении размер анода должен соответствовать размеру матрицы. Аноды в виде пластин в специальных чехлах (из поровинила, бельтинга, хлориновой ткани, бязи и т. д.) завешивают параллельно матрице на одном уровне на расстоянии не менее 50 мм. Требуемая толщина деталей зависит от величины плотности тока и определяется временем электроосаждения. При этом толщина деталей не должна превышать толщину фоторезистивного слоя матрицы. После наращивания металла необходимой толщины рамку с фотополимерной матрицей извлекают из гальванопластической ванны, промывают в холодной проточной воде в течение 1–2 мин и сушат сжатым воздухом. Затем матрицу погружают в водный раствор гидроксида натрия или калия концентрацией 400–500 г/л при температуре раствора 18–25 °С

на 60–120 мин. При этом происходит частичная деструкция фоторезистивного слоя, приводящая к потере ее механической прочности и адгезионной связи с подложкой, что позволяет удалить фоторезистивный слой с подложки кистью или щеткой. Полученные детали переносят в ванну с горячей проточной водой и промывают от раствора гидроксида натрия при температуре 45–55 °С. Далее детали промывают в холодной проточной воде и в течение 2–3 мин в дистиллированной воде, после чего сушат сжатым воздухом.

Разнотолщинность полученных деталей не должна выходить за пределы допуска. Шероховатость поверхности получаемых деталей соответствует шероховатости поверхности подложки. Таким образом, точность получения деталей соответствует точности изготовления фотошаблона и лежит в пределах допуска на штампуемые детали.

Основные дефекты процесса изготовления плоских деталей с использованием фотополимерных материалов и способы их устранения приведены в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Способы устранения дефектов при использовании фотополимерных материалов

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Складки и раздутия фоторезистивной пленки на подложке	Плохая намотка рулона. Не отрегулировано натяжение фоторезистивной пленки при накатке	Заменить рулон на новый. Отрегулировать натяжение пленки при накатке на подложку
Отслаивание пленки с подложки	Плохая подготовка поверхности подложки. Нарушение режимов нанесения фоторезистивной пленки	Провести качественную подготовку поверхности подложки. Отрегулировать режимы нанесения фоторезистивной пленки

Продолжение табл. 4.1

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Механические включения в пленке	Загрязнения фоторезиста или воздушной среды помещения	Проверить фоторезист и удалить загрязненный участок или сменить рулон. Исключить попадание в воздушную среду посторонних включений
Прилипание фототаблона к пленке при экспонировании	Завышена температура в зоне экспонирования. Несоответствие времени выдержки характеристикам ламп	Снизить температуру до максимально допустимой, указанной в паспорте установки. Привести в соответствие время выдержки характеристикам ламп данной установки экспонирования
Плохое отделение лавсановой пленки при проявлении	Повышенная температура или увеличенное время при экспонировании	Снизить температуру или время экспонирования
Набухание, приподнятые края, разрушение формообразующего рисунка	Недостаточное время экспонирования. Передержка при проявлении. Нарушение режимов нанесения фоторезистивной пленки	Увеличить время экспонирования. Снизить время проявления. Отрегулировать режимы нанесения пленки
Фоторезистивная пленка не удаляется с пробельных участков	Избыточная толщина электролитического осадка. Загрязненный раствор для проявления и более низкая концентрация его	Снизить толщину осадка до допустимых значений для данного вида фоторезиста. Отфильтровать раствор и откорректировать его концентрацию до расчетного значения

Продолжение табл. 4.1

Характер дефекта	Возможные причины	Способ устранения
Фоторезистивная пленка плохо удаляется с подложки при съеме деталей	Занижена концентрация или температура щелочного раствора	Откорректировать концентрацию или температуру щелочного раствора
Разнотолщинность по профилю деталей	Неправильно выполнена оттяжка на фотошаблоне	Сделать фотошаблон с правильной оттяжкой по профилю детали
Коробление или поводка деталей	<p>Большие внутренние напряжения в электролитическом осадке.</p> <p>Толщина электролитического осадка на фоторезистивной матрице превышает толщину фоторезистивной пленки</p>	<p>Снизить внутренние напряжения до допустимых значений для данного вида электролита.</p> <p>Снизить толщину электролитического осадка до толщины на 5 мкм ниже, чем толщина фоторезистивной пленки</p>
На профиле детали наблюдается наличие нечетких элементов профиля окон	<p>Некачественно выполнен фотошаблон (нет четкости профиля, царапины, риски, грязь).</p> <p>Не полностью проявлен формообразующий рисунок.</p> <p>Механическое повреждение детали при съеме с подложки</p>	<p>Изготовить новый фотошаблон.</p> <p>Исключить неполное проявление формообразующего рисунка.</p> <p>Применять инструмент, исключающий механическое повреждение детали</p>

Рассмотренная технология изготовления сложно-профильных плоских деталей с использованием фотополимерных материалов отработана и применяется на предприятии ЗАО «Полиформ» в Санкт-Петербурге.

4.3. ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ МАТРИЦЫ И МАСТЕР-МОДЕЛИ ИЗ ЖИДКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Для изготовления деталей толщиной от 200 до 500 мкм применяют матрицы, получаемые с использованием жидких фотополимеризующихся композиций. Жидкая фотополимеризующаяся композиция представляет собой раствор олигомеров, содержащих полимеризационноспособные связи в олигомерной цепи ($C=C$, $C\equiv C$), в мономерном продукте, выполняющем роль реакционноспособного растворителя. При облучении жидкой фотополимеризующейся композиции происходит сополимеризация ненасыщенного олигомера с ненасыщенным мономером, и этот раствор в местах облучения переходит в твердый полимерный материал. Отвержденный материал формируется либо в форме, либо на подложке, поэтому при использовании жидкой фотополимеризующейся композиции отпадает необходимость в предварительном получении материала из раствора [28]. Фотополимеризующиеся композиции для изготовления фотополимерных матриц и мастер-модели для гальванопластики должны обладать следующими свойствами:

- технологичностью;
- высокой скоростью полимеризации; способностью давать покрытия толщиной до 2,5 мм (с низкой набухаемостью и проницаемостью в кислых средах при рН, равном 0,8–4,5: электролитах меднения и никелирования и др.);
- высокой адгезией к коррозионно-стойкой стали и хромированной жести, покрытой адгезионно-противоореальным слоем;
- способностью к химической металлизации [30, 31].

К важнейшим технологическим свойствам фотополимеризующихся композиций относятся: небольшая вязкость при температуре 20 ± 2 °С (динамическая вязкость в пределах 4–7 Па·с, условная вязкость в пределах 10–12 с); достаточная стабильность

при температуре переработки; малая усадка ($\geq 0,5\%$). Небольшая вязкость фотополимеризующих композиций позволяет легко их заливать, заполняя узкие полости и щели, точно копировать формообразующую поверхность. Применяются следующие жидкие фотополимерные композиции: ПЭМА-2 на основе ненасыщенного полиэфира ПН-30; ОУА-ТМ на основе олигоуретанакрилата ОУА-200Т; ОЭА на основе олигоэфиракрилата МДФ-2. Но каждая композиция имеет существенные недостатки. Например, ПЭМА-2 содержит в своем составе 60 % стирола, достаточно токсичного вещества; ОУА-ТМ промывается спирто-ацетоновой смесью, что нетехнологично; ОЭА не обладает достаточной светочувствительностью и стойкостью к кислым электролитам.

Наилучшей совокупностью свойств обладает композиция Ликофот-Т22, которая представляет собой ненасыщенную полиэфирную смолу ПН-37 с добавкой фотоинициатора типа 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона и термоингибитора N-нитрозодифениламина. Эта композиция представляет собой прозрачный однородный раствор от светло-желтого до светло-коричневого цвета. Она обладает следующими физико-механическими свойствами:

Плотность при $20 \pm 0,5$ °С, кг/м ³ . . .	(1,200–1,220) 10^{-3}
Вязкость при $20 \pm 0,5$ °С, Па · с:	
динамическая	4–7
условная	10–15
Стабильность при 80 °С, ч, не менее	15
Параметрическая оптическая чувствительность, м ² /Дж, не менее	0,25
Параметрическая ширина воспроизводимости элементов фотополимерной формы из композиции, мм, не более	0,15
Твердость фотоотверждаемой композиции, Н/мм ²	14,5–22,5

Ликофот-Т22 — это низковязкая композиция с малой усадкой, она отличается хорошей стабильностью, промывается 5%-ным раствором бикарбоната натрия, не имеет резкого запаха. С ее помощью мож-

но получать рельефные формы толщиной до 2,5 мм с низкой набухаемостью в кислых электролитах, высокой адгезионной прочностью к коррозионно-стойкой стали и хромированной жести [38].

Рассмотрим технологию изготовления фотополимерных матриц из жидких композиций.

После изготовления фотошаблона и подготовки металлической подложки (как и для фоторезистивных матриц) производят сборку и заливку композиции в формующе-копировальную рамку (рис. 4.1).

В собранную формующе-копировальную рамку под давлением 0,15 МПа заливают фотополимеризующуюся композицию Ликофот-Т22. Количество заливаемой композиции определяется экспериментально и зависит от формата и толщины фотополимерной матрицы. После этого производят экспонирование изображения детали через фотошаблон. Время экспонирования зависит от сложности профиля и толщины светочувствительного слоя и колеблется в пределах от 15 до 40 с. Затем разбирают формующе-копировальную рамку и необлученные участки фотополимеризующейся композиции проявляют водным раствором (10 г/л) кальцинированной соды при температуре 28–32 °С в течение 1,5–3,0 мин в зависимости от сложности профиля детали и толщины светочувствительного слоя. Далее фотополимерную матрицу промывают в холодной проточной воде в течение 1,0–1,5 мин и высушивают. Подготовленную таким образом матрицу помещают в установку для дополнительной обработки печатных форм и проведе-

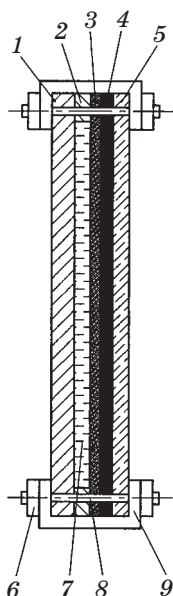


Рис. 4.1. Формующе-копировальная рамка:

1 — металлическая подложка; 2 — ростовая планка; 3 — полиэтиленерефталатная пленка; 4 — фотошаблон; 5 — кварцевое стекло; 6 — гайка; 7 — жидкая фотополимеризующаяся композиция; 8 — шпилька; 9 — скоба

ния задубливания светочувствительного слоя (одновременное облучение ультрафиолетовым излучением и термообработка) формообразующего рельефа матрицы при температуре 105–115 °С в течение 5–7 мин (время выбирается в зависимости от толщины светочувствительного слоя). После этого фотополимерная матрица охлаждается вместе с установкой до температуры 18–25 °С и передается на гальванопластический участок, где проводится подготовка фотополимерной матрицы к осаждению металла. Процесс осаждения металла, съем деталей и контроль качества полученных деталей проводят аналогично процессам при получении деталей из фоторезиста [39]. Для изготовления матриц можно использовать и другие жидкие фотополимерные композиции, однако при этом необходимо учитывать их адгезионные свойства к подложкам из коррозионно-стойкой стали.

При изготовлении фотополимерной мастер-модели подложкой, как правило, служит оргстекло. Иногда используют жель марки ХЛЖК, покрытую адгезионным противоореальным слоем. Подложку из оргстекла помещают в формующе-копировальную рамку, заполняют пространство между фотошаблоном и подложкой жидкой фотополимеризующейся композицией, а затем производят экспонирование. При достаточно больших толщинах фотополимерного рельефа экспонирование ведут с двух сторон: сначала со стороны фотошаблона, а затем со стороны подложки. Благодаря химическому сродству фотополимера к оргстеклу адгезия между ними достаточно высокая и отслоения не наблюдается. Подготовку мастер-модели из фотополимерного материала к гальванопластическому осаждению металла, осаждение металла и съем мастер-модели из готовой матрицы производят точно так же, как это делалось при получении формообразующих элементов пресс-форм по моделям из диэлектрика. Гальванопластические матрицы, полученные по фотополимерным моделям, не требуют механической обработки формообразующих поверхностей и в точности соответствуют чертежу.

**ОБОРУДОВАНИЕ
И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА,
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ**

**5.1. ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧЕСКОГО
НАРАЩИВАНИЯ**

Метод гальванопластики широко используется в промышленном производстве при изготовлении самых разнообразных изделий — игрушек, секток для бритв, волноводов, пресс-форм для литья изделий из термопластов, форм для литья изделий из пластизоля, алмазных инструментов и т. д. Такое конструктивное многообразие изделий, получаемых гальванопластическим методом, не позволяет выбирать общую оснастку и оборудование, пригодные для изделий любой формы и размеров. В каждом случае оборудование для гальванопластического производства разрабатывают специально. Ванны для гальванопластического наращивания в связи с необходимостью формирования толстых слоев металла оборудуют приспособлениями для интенсификации процесса и получения равномерных по толщине осадков. Для этого гальванопластические ванны снабжаются элементами покачивания или вращения катода в горизонтальном, вертикальном или наклонном положениях. Используют перемешивание или циркуляцию электролита, подачу струи электролита на катод или в межэлектродное пространство либо прокачку электролита через ванну. Современные установки снабжаются блоками фильтрации электролита от механических загрязнений и органических примесей. Установки оборудуют средствами контроля количества электричества, напряжения, водородного показателя рН, температуры электролита. Они снабжаются источниками питания, обеспечивающими изме-

нение силы тока по заданной программе, стабилизированными по току либо по напряжению.

В промышленности для наращивания гальванопластических копий используют стационарное и автоматическое оборудование. Стационарные ванны имеют прямоугольную форму, их сваривают из стальных листов толщиной 4–5 мм и футеруют винипластом, полипропиленом, органическим стеклом. Ванны больших размеров снабжаются ребрами жесткости, электролит в них нагревается паром с использованием змеевиков из титановых, свинцовых или оцинкованных стальных труб. Для облегчения очистки ванн змеевики располагаются вдоль их стенок, а не на дне ванны. В стационарных ваннах больших размеров применяются пневматическое перемешивание электролита очищенным сжатым воздухом. Для равномерного перемешивания электролита отверстия в трубах выполняют разного диаметра, возрастающего по мере удаления от места подачи сжатого воздуха. Воздух в трубопровод подается под давлением 100–130 кПа. В гальванопластике, в случае отсутствия изделий крупногабаритных размеров, чаще всего используют стационарные ванны объемом 100–200 л.

Гальванопластические установки с таким объемом электролита в рабочей ванне выпускает ОАО «Темп» (г. Хмельницкий).

Установка «Гальванопласт-1М» (рис. 5.1) предназначена для катодного осаждения чистых металлов и двойных сплавов на мастер-модель методом гальванопластики. Установка выпускается двух модификаций: для изготовления тел вращения со сложным профилем внутренних полостей, повышенной точностью размеров и высокой степенью шероховатости поверхностей, которые трудно или вообще невозможно обеспечить механической обработкой, либо для изделий, не являющихся телами вращения.

Принцип действия установки основан на осаждении металлов и сплавов на мастер-модели из коррозионно-стойкой стали (на модели из диэлектрических материалов, предварительно заматаллизованных

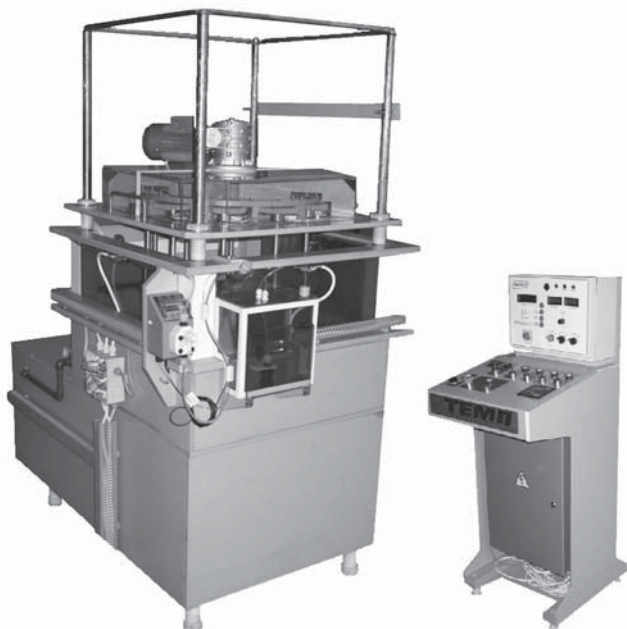


Рис. 5.1. Общий вид установки «Гальванопласт-1М»

ные) в электролитах под действием постоянного тока.

Конструктивно установка состоит из электролизера 1, вспомогательной ванны (бака) 2, механизма вращения 10 (рис. 5.2), мастер-модели 14, фильтра-насоса 27 для непрерывного перемешивания и фильтрации электролита, источника питания ИП (рис. 5.3), соединенного токоведущими проводами с электролизером. Управление работой установки осуществляется пультом управления ПУ (см. рис. 5.3).

Вспомогательная ванна (бак) представляет собой клеесварную конструкцию из химически стойкого материала (PVC, производство Германия) с регулируемыми ножками 22, на которой установлен электролизер. Бак служит для приема электролита на период очистки внутренней полости электролизера, а также перекачки электролита обратно в электролизер с одновременной фильтрацией его с помощью специальной сменной сетки, установленной внутри

бака перед входом в насос. На крышке бака установлены электролизер, фильтр-насос, люк 20 для замены сетки и залива воды для мойки бака. Насос 23, установленный внизу, возле задней стенки бака, соединен трубопроводом с электролизером и служит для подачи электролита в электролизер. Включение и выключение насоса производится кнопками на панели пульта управления ПУ (см. рис. 5.3).

Бак имеет наклонное дно и сливной вентиль 21 со штуцером для слива в кислотно-щелочные стоки. Уровень раствора в баке определяется визуально, с помощью прозрачной трубки (уровнемера) 24, установленного в стенке бака. Электролизер представляет собой клеесварную конструкцию из поливинилхлорида PVC, на трех стенках которой завешены никелевые аноды 19. С помощью токоподводов и клемм аноды снаружи электролизера подсоединены к источнику питания. С целью полного использования анодного материала периодически вместо одной из анодных пластин возможно установление специальной плоской корзины с перфорированными стенками, выполненной из титана марки ВТ1-00.

Для предотвращения попадания в электролит частиц, разрушенных в процессе работы анодов, в установке предусмотрены чехлы на аноды из бязи или хлориновой ткани.

В электролизере, в среде электролита, осуществляется процесс электрохимического осаждения чистого никеля (сплава никель—кобальт, меди) и тем самым получения заданных деталей или их элементов. Уровень электролита поддерживается визуально сквозь прозрачные стенки электролизера по белой полосе на задней стенке, указывающей верхний и нижний уровни электролита. Для предотвращения аварийной ситуации (отключения нагрева при недостаточном уровне электролита) предусмотрен датчик уровня 6, установленный в электролизере.

Во избежание перелива раствора в электролизере предусмотрена сливная трубка 13, соединенная с баком. Долив электролита можно осуществлять

Вид спереди

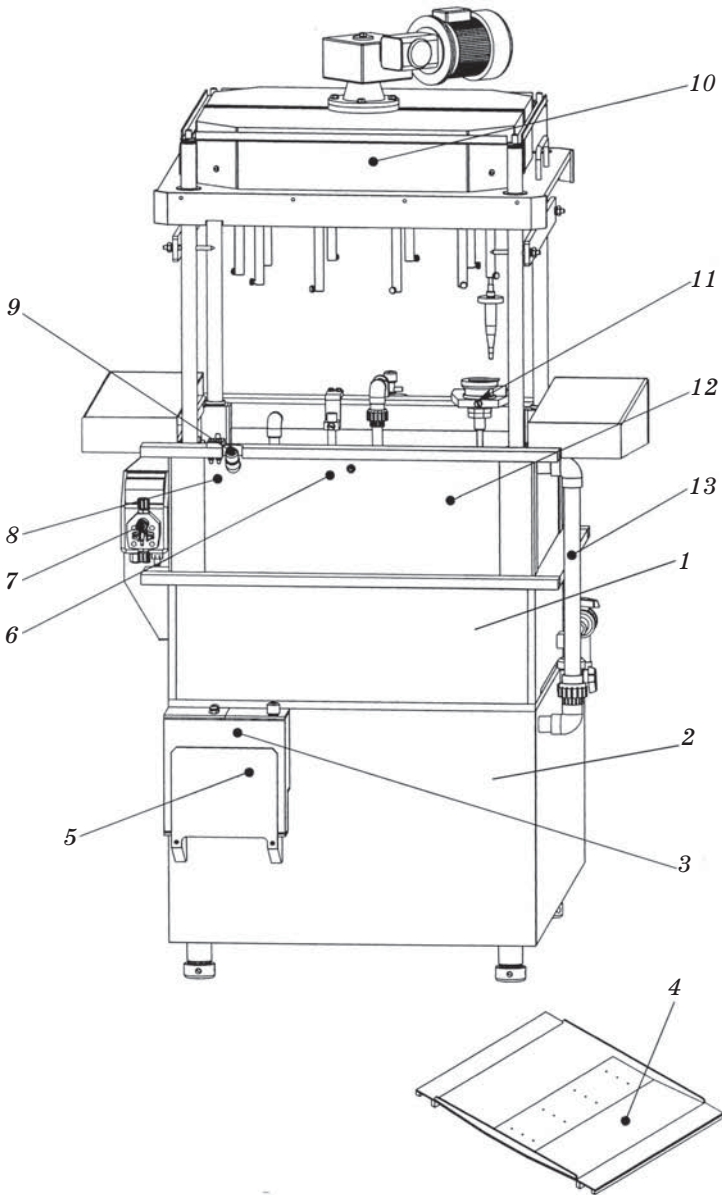
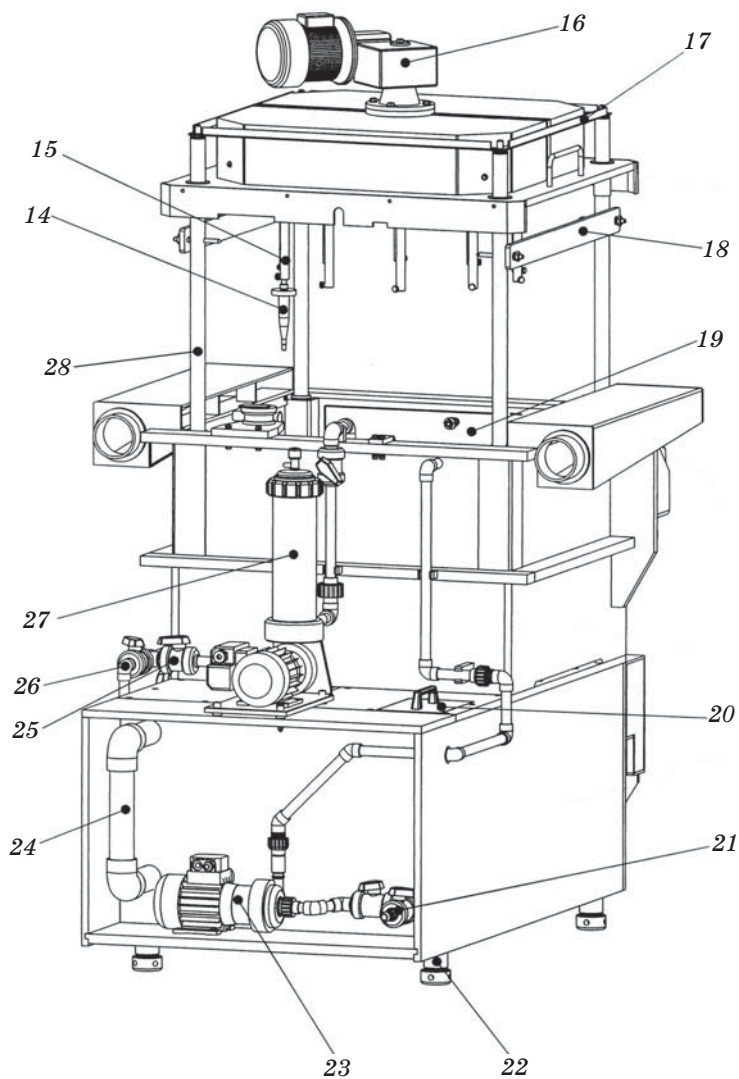


Рис. 5.2. Схема расположения узлов

Вид сзади



установки «Гальванопласт-1М»

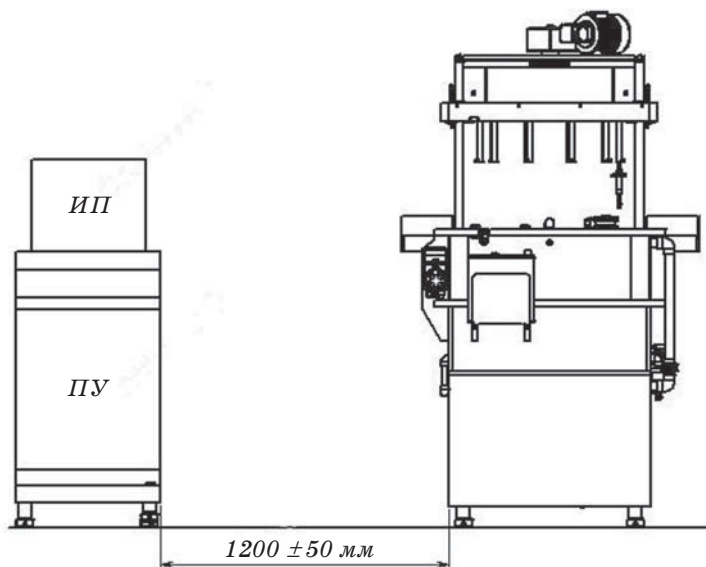


Рис. 5.3. Схема взаимного расположения установки «Гальванопласт-1М» и блока питания

непосредственной заливкой электролита через патрубков *9* в стенке электролизера или от вспомогательной емкости (если она наполнена) с помощью насоса *23* (на панели пульта — кнопкой).

Дно электролизера наклонное, имеется сливной вентиль *26* со штуцером для слива в кислотно-щелочные стоки.

На задней стенке электролизера установлены форсунки *12*, направляющие под напором электролит от фильтр-насоса в зону обрабатываемых деталей (мастер-модель). Скорость циркуляции раствора регулируется ручным вентилем *25* на трубопроводе перед фильтр-аппаратом. Мастер-модели *14*, являющиеся катодами, закреплены в держателях *15* механизма привода *10*, обеспечивающего вращательное движение их вокруг оси привода *16* и одновременно вокруг собственной оси. Держатели выполнены из коррозионно-стойкой стали длиной, которая обеспечивает погружение поверхностей обрабатыва-

емых деталей в зону до середины анодов, а сам механизм привода при этом выше зеркала электролита примерно на 110 мм.

Для закрепления и снятия с держателей мастер-модели механизм вручную (двумя рабочими, см. рис. 5.3) или с помощью подъемников, поднимается по направляющим колонкам 28 вверх над электролизером до верхней ограничительной рамки 17.

Для фиксации механизма в верхнем положении служат две планки с фиксаторами 18, устанавливаемые в отверстия направляющих колонок. Во время перезагрузки мастер-модели электролизер закрыт съемной крышкой 4, входящей в комплект изделия.

Процесс осаждения никеля (сплава никель—кобальт) на мастер-модель сопровождается нагревом рабочего раствора. Осаждение наиболее эффективно при температуре раствора 50–55 °С. Контроль рабочей температуры раствора осуществляется датчиком контроля температуры, подающего команду на включение (выключение) электронагревателя. При превышении температуры раствора выше 55 °С срабатывает датчик температуры 11, на панели шкафа управления выключается индикация «НАГРЕВ», выключается нагреватель. В установке используется температурный датчик фирмы «Мазурчак» (Германия). Для рН-контроля электролита и корректировки его в процессе работы используется электромагнитный мембранный дозирующий насос 7 (Италия) со встроенным рН-метром, который позволяет автоматически и плавно корректировать состав рабочего раствора в зависимости от параметров рН. Датчик контроля рН 8 находится в постоянном контакте с электролитом в электролизере. Емкость 3 (объем 4 л) для корректирующего раствора по рН закреплена на электролизере. Заборный патрубок дозирующего насоса 7 с фильтровальным элементом и датчиком уровня 5 установлен в емкости 3.

Механизм вращения мастер-модели представляет собой устройство, состоящее из непосредственно привода, который находится выше верхнего фланца

электролизера. Внутри корпуса механизма размещается зубчатый планетарный механизм, включающий в себя неподвижное центральное зубчатое колесо внешнего зацепления с вертикальной осью, расположенной по центру электролизера, и вращающееся водило с приводом от червячного мотор-редуктора. Ось вращения водила совпадает с осью неподвижного зубчатого колеса. На водиле расположены 10 сателлитов, установленных с возможностью вращения относительно осей, закрепленных на водиле, и находящихся в зацеплении с неподвижным зубчатым колесом. Весь этот механизм размещается в свободном пространстве ванны над уровнем электролита и имеет возможность подниматься вверх вместе с приводом.

Мастер-модели крепятся к вращающимся сателлитам с помощью держателей, установленных строго соосно с самими сателлитами и вращающихся вместе с ними. Все детали и их сочленения — от внешней клеммы токоподвода до модели-катода — выполнены из электропроводящего материала. Материал зубчатых передач — полипропилен, стойкий к агрессивной среде. Элементами токосъема с неподвижного проводника, расположенного на корпусе механизма, на вращающееся водило и последующего токосъема с водила на вращающиеся сателлиты служат медно-графитовые щетки. Щетки подпружинены и находятся в щеткодержателях, расположенных на неподвижной части механизма и на плите водила. Вся пускорегулирующая аппаратура и органы управления размещены на пульте управления ПУ (см. рис. 5.3). На боковой стенке пульта управления установлен вводной автоматический выключатель «Сеть». Пульт управления соединяется с установкой жгутами. На панели пульта управления расположены органы управления и световая сигнализация. Включение каждого исполнительного устройства осуществляется поворотными переключателями, при этом включаются индикаторы с соответствующими надписями.

В качестве источника постоянного тока в установке используется агрегат Galfont SW 15V/25A UA (ИП, рис. 5.3). Источник питания установлен над корпусом пульта управления.

Регулировка объемных расходов в магистрали фильтрации раствора в электролизере осуществляется ручными вентилями.

Технические характеристики установки «Гальванопласт-1М»:

Скорость наращивания никеля, мкм/ч (при катодной плотности тока 1 А/дм ²)	12
Объем электролита в рабочей ванне, л	170
Максимальная площадь мастер-модели, дм ²	5,0
Максимальная площадь поверхности анодов, дм ²	90
Внутренние размеры рабочей ванны, мм	590×590×450
Рабочая температура электролита, °С	50±5
Потребляемая мощность, кВт	6,5
Диапазон установок:	
постоянного тока, А	0–5
напряжения выпрямленного тока, В	0–15
Объем ванны подготовки электролита, л	200
Габаритные размеры установки, мм	1100×1450×1900
Масса, кг	250

При изготовлении изделий, не являющихся телами вращения, механизм кругового движения модели заменяется качающейся штангой. Число качаний катодной штанги в минуту составляет 26–28, а амплитуда качания катодной штанги — 40–45 мм.

Для изготовления плоских изделий и электродинструмента применяются ванны с нерастворимыми анодами из платинированного титана. Модель устанавливают на стол, находящийся внутри ванны, аноды устанавливают на одинаковом расстоянии от профильной поверхности модели (за счет такой расстановки анодов удается создать при электролизе равный потенциал по всей поверхности осаждения металла, что позволяет получать равномерные по толщине осадки) и подают в рабочую зону электролит. Электролиз ведут с применением импульсного

источника тока. Сила тока в импульсе составляет 300 А, что позволяет получать равномерные по толщине осадки, без дендритов, при высокой скорости осаждения.

5.2. ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА

Типы анодов. В гальванопластике применяются аноды в виде пластин различных размеров, (например 200×200×80 мм) и полос. Титановые корзины изготавливают из титана марки ВТ-00 и заполняют либо шариками диаметром от 8 до 10 мм, либо параллелепипедами. Аноды крепятся к штангам при помощи крючков из коррозионно-стойкой стали, которые присоединяются к аноду болтами также из коррозионно-стойкой стали. Аноды из никеля одевают в чехлы из бязевой или пропиленовой ткани, а медные аноды — в чехлы из хлориновой, «бельтинговой» или поливинилхлоридной ткани после обработки их в растворе 300 мл 33%-ной перекиси водорода на 1 л воды. Никелевые аноды используются марок НПАН, Н0, Н1, а медные — марок АМФ, М0, М1 или изготовленные электроосаждением. Никелевые аноды перед завешиванием необходимо отпескоструить и протравить 50%-ным раствором азотной кислоты, а медные аноды — обработать 10%-ным раствором азотной кислоты. При использовании нерастворимых анодов следует обеспечить постоянную подачу ионов металла от внешнего источника тока за счет электролитического растворения металла в накопителе.

Приспособления для очистки электролитов. Очистка электролитов от взвешенных частиц производится при помощи фильтр-прессов различной конструкции. Для фильтрации применяются фильтры любых типов и размеров (например, в виде наборов дисков, патронные и мешочные фильтры). В гальванопластике чаще всего используют фильтры патронного типа [2]. Патронные фильтры изготавлива-

ются из специального пористого материала (керамики, пластмассы, ткани). В качестве фильтрующего элемента применяют многослойную полипропиленовую трубку из нитей, в качестве фильтрующих материалов — бязь, хлорин, сукно.

Для очистки электролитов от органических примесей вместо активированного угля используют фильтрацию электролита через угольную сорбционно фильтрующую ткань марки АУСФ. Ткань имеет высокую сорбционную емкость, что сокращает нормы ее расхода по сравнению с активированным углем марки БАУ в 50 раз.

Приспособления для крепления моделей. От конфигурации и размеров модели зависят конструкции подвесок и экранов. Один из вариантов изоляции модели приведен на рис. 5.4, *а*.

Токоподвод и другие поверхности (1, 2), которые не нужно заравнивать, закрываются заглушками 5 из фторопласта, оргстекла или винипласта. Крепление заглушек производится винтами 4 из оргстекла (М4, М6, М8 и т. д.) или по прессовой посадке. Токоподвод выполняется из медной полосы с отверстием для крепления или из медной проволоки с резьбой на конце (рис. 5.4, *б*, *в*).

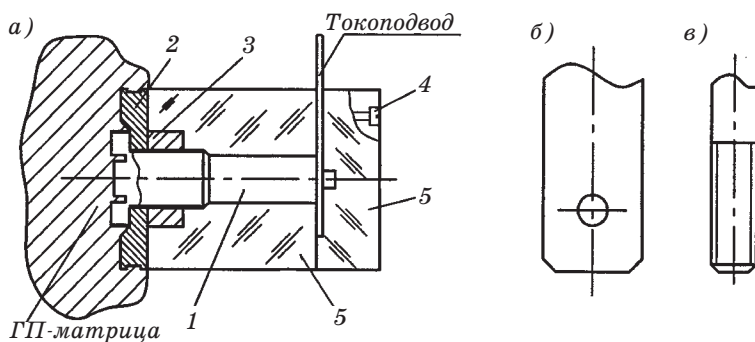


Рис. 5.4. Вспомогательная оснастка: *а* — для изоляции модели; *б*, *в* — для крепления модели;

1, 2 — модель; 3 — гайка; 4 — винты; 5 — заглушки

Т а б л и ц а 5.1

Группа материалов	Название материалов	Характеристика среды	Условия нанесения	Методы удаления
Масляные	<p><i>Состав 1</i> Натуральный воск — 37,5–65 % Парафин — 12,5–25 % Канифоль — 50–10 %</p> <p><i>Состав 2</i> Натуральный воск — 50–70 % Канифоль — 50–30 %</p> <p><i>Состав 3</i> Канифоль — 33,3 % Церезин — 30,0 % Парафин — 36,7 %</p>	Кислые электролиты меднения. Температура до 35 °С	Наносить в один-два слоя кистью, шпателем, окунанием. Температура составов 80–90 °С. Сушить на воздухе	Основную часть мастики снять путем погружения деталей в кипящую воду. Остатки снять в растворе моющего средства ТМС-51 при содержании его 50–80 г/л в течение 0,5–1,0 мин
Пленочные	Грунт ХСГ-26	Кислые электролиты меднения. Температура до 35 °С	Наносить в три-четыре слоя пульверизатором или окунанием с промежуточной сушкой каждого слоя в течение 10–20 мин при температуре 45–55 °С. Слой изоляции после высыхания должен образовывать ровную гладкую пленку, без морщин, оспин, подтеков	Снять изоляционный слой при помощи погружения деталей в горячую воду при температуре 80–90 °С. Снятие остатков изоляции осуществляется в соответствующем растворителе

Продолжение табл. 5.1

Группа материалов	Название материалов	Характеристика среды	Условия нанесения	Методы удаления
Пленочные	<p>Эмали ПХВ-1, ПХВ-29, ХСЭ-23, ХСЭ-26</p> <p>Лаки ХСЛ, ХВЛ-21</p> <p>Растворитель Р-4</p> <p>Нитроклей АК-20, растворитель РДВ или ацетон</p> <p>Лак эпоксидный Э-4100, растворитель — ацетон или ксилол; масса полуэбонитовая; клей резиновый; пластизоль марки «Диплазоль 2А»</p>	<p>Кислые электролиты. Температура до 98 °С</p> <p>Применять для изоляции подвесочных приспособлений</p>	<p>Первый слой нитроклея сушить 50–60 мин на воздухе при температуре 18–23 °С или 25–30 мин при температуре 40–50 °С. Каждый последующий слой сушить 40–60 мин при температуре 40–50 °С</p>	

Токоподвод изолируют изоляционными лентами, мастиками или пленочными материалами. Материалы для изолирования поверхностей модели, не подлежащих покрытию, и токоподвода приведены в табл. 5.1.

Г л а в а 6

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЛИТОВ

6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Определение хлористого никеля

Хлористый никель определяют по хлору объемным аргентометрическим методом, основанным на осаждении ионов хлора азотнокислым серебром в присутствии хромовокислого калия, который после связывания всего хлора образует с азотнокислым серебром красный осадок хромовокислого серебра.

Необходимые реактивы

Серебро азотнокислое 0,1 н-раствор
Калий хромовокислый 5% -ный раствор

Ход анализа

2–5 мл электролита отобрать в коническую колбу емкостью 250 мл; долить 30–50 мл воды, 2–3 мл 5% -ного раствора хромовокислого калия и титровать 0,1н-ным раствором азотнокислого серебра до выпадения красного осадка хромата серебра.

Расчетное содержание хлористого никеля определяется по формуле

$$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{aT3,35 \cdot 1000}{b}, \text{ г/л,}$$

где a — количество 0,1н-раствора азотнокислого серебра, затраченного на титрование, мл; T — титр 0,1н-раствора азотнокислого серебра, выраженный в граммах хлора (теоретический титр 0,0035 г/мл); 3,35 — коэффициент пересчета хлора на хлорид

никеля; b — количество электролита, взятого на анализ, мл.

Определение борной кислоты

Борную кислоту определяют алкалиметрическим методом (с отделением никеля едким натром), основанным на переводе слабой борной кислоты глицерином или маннитом в более сложное комплексное соединение титрованием его раствором едкого натра. Мешающий определению никель предварительно отделяют щелочью.

Необходимые реактивы

Натр едкий	0,1н- и 10%-ные растворы
Кислота соляная (плотность 1,19)	0,1н-раствор и разбавленная 1:1
Метилловый красный	0,1%-ный спиртовой раствор
Глицерин	Разбавленный 2:1
Манит	
Фенолфталеин	

Ход анализа

Для анализа отбирают 20 мл электролита в коническую колбу емкостью 250 мл, уже содержащую 10 мл горячего 10%-ного раствора едкого натра и нагревают несколько минут. Затем раствор охладить и перевести в мерную колбу емкостью 200 мл, долить водой до метки и перемешать. Раствор фильтровать, отбрасывая первую половину фильтрата. Аликвотную часть раствора в 10–20 мл отобрать в коническую колбу емкостью 250 мл. Добавить несколько капель метилового красного спиртового раствора и нейтрализовать сначала соляной кислотой, разбавленной 1:1, а затем 0,1н-ным раствором соляной кислоты до появления розовой окраски. Раствор подщелачивать 0,1н-ным раствором едкого натра до пе-

рехода окраски в желтую. Добавить 10 мл глицерина (разбавленного в соотношении 2:1) или 1–2 г маннита, несколько капель фенолфталеина. Раствор окрасится в розовый цвет (по индикатору метиловому красному); титровать 0,1н-ным раствором едкого натра. При этом розовая окраска исчезнет, раствор пожелтеет, титрование продолжать до появления вновь розовой окраски (по фенолфталеину). Затем долить еще до 10 мл глицерина (2:1) или же прибавить 1 г маннита и при обесцвечивании раствора продолжить титрование. Если от прибавления очередной порции глицерина или же маннита розовая окраска не исчезнет, титрование считать законченным.

Расчетное содержание борной кислоты определяется по формуле

$$\text{H}_3\text{BO}_3 = \frac{aK0,00618 \cdot 1000}{b}, \text{ г/л,}$$

где a — количество 0,1н-раствора едкого натра, затраченного на титрование, мл; K — поправка к титру; 0,00618 — титр 0,1н-раствора едкого натра по борной кислоте; b — количество электролита, взятого на анализ, мл.

Определение сульфата никеля

Сульфат никеля определяют исходя из определения общего количества никеля в растворе.

Сульфат никеля определяют объемным комплексометрическим методом, основанным на титровании никеля трилоном Б в аммиачной среде в присутствии индикатора мурексида.

Необходимые реактивы

Трилон Б	0,1н-раствор
Мурексид	0,2% -ная смесь с хлористым натрием
Аммиак водный	25% -ный раствор
Аммоний хлористый	

Ход анализа

10 мл электролита разбавить в мерной колбе до 250 мл. Отобрать 5 мл приготовленного раствора в коническую колбу и добавить 100 мл дистиллированной воды, концентрированным аммиаком довести значение рН до 10 (определять индикаторной бумажкой), добавить индикатор мурексид и титровать 0,1н-раствором трилона Б до появления розового окрашивания. Затем добавить еще 5 мл концентрированного аммиака и титровать до появления красно-фиолетового окрашивания.

Расчет общего содержания никеля производят по формуле

$$Ni = \frac{a \cdot 0,00293 \cdot 1000}{bc}, \text{ г/л,}$$

где a — количество 0,1н-раствора трилона Б, затраченного на титрование, мл; 0,00239 — теоретический титр 0,1н-раствора трилона Б, выраженный в граммах никеля; b — количество электролита, взятого на анализ, мл; c — количество раствора, взятого на титрование, мл.

Сульфамат никеля рассчитывают исходя из общего количества никеля по формуле

$$Ni(NH_2SO_3)_2 \cdot 4H_2O = [A - (B \cdot 0,247)] \cdot 5,5, \text{ г/л,}$$

где A — общее количество никеля в электролите, г/л; B — количество хлористого никеля в электролите, г/л; 0,247 — коэффициент пересчета с хлористого никеля на никель; 5,5 — коэффициент пересчета с никеля на сульфамат никеля.

Определение сульфамата кобальта

Определение сульфамата кобальта производят объемно-весовым методом.

Необходимые реактивы

Кислота соляная Разбавленная 1:4
Аммоний щавелевокислый
Кислота уксусная (плотность 1,05);
 α -нитрозо- β -нафтол 2%-ный раствор

Приготовление раствора α -нитрозо- β -нафтол

2г реактива α -нитрозо- β -нафтол помещают в ступку, смачивают 1–2 мл ледяной уксусной кислоты. Полученную массу смывают 50 мл ледяной уксусной кислоты в колбу, приливают 50 мл горячей дистиллированной воды, хорошо перемешивают и фильтруют через фильтр «белая лента».

Ход анализа

20 мл электролита отобрать в мерную колбу емкостью 200 мл, долить водой до метки и перемешать. Аликвотную часть раствора в 10–20 мл отобрать в стакан емкостью 400 мл, долить 25–50 мл воды, 15 мл соляной кислоты. Раствор довести до кипения, затем в горячий раствор, при перемешивании, прилить 50–80 мл 2%-ного раствора α -нитрозо- α -нафтола. Раствор кипятить еще 10–15 мин и оставить на сутки для полного созревания осадка. Полученный раствор с осадком профильтровать через два слоя фильтра «синяя лента», затем фильтр с осадком промыть 5–6 раз горячим раствором соляной кислоты (1:4) и 5–6 раз в горячей дистиллированной воде. Фильтр подсушить, поместить в прокаленный до постоянного веса фарфоровый тигель, посыпать тонким слоем щавелевокислого аммония (~1 г), высушить и озолить в прикрытом крышкой тигле. Затем снять крышку и прокалить при температуре 800–850 °С в течение 50–60 мин до постоянного веса, охладить в эксикаторе и взвесить.

Расчет содержания сульфамата кобальта производят по формуле

$$\text{Co}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = \frac{a4,34 \cdot 1000}{b}, \text{ г/л,}$$

где a — вес осадка закиси-окиси кобальта, г; 4,34 — коэффициент пересчета с закиси-окиси кобальта на сульфамат кобальта; b — количество электролита, взятого на анализ, мл.

Определение сахарина

Метод основан на экстрагировании сахарина этилацетатом (этиловым эфиром уксусной кислоты) и титровании щелочью [31].

Необходимые реактивы

Натр едкий 0,02н-раствор
Кислота соляная (плотность 1,19)
Спирт этиловый
Бромкрезоловый пурпурный

Этилацетат химически чистый (содержание уксусной кислоты должно быть предельно низким — проверяют титрованием щелочью) или хроматографически чистый.

Ход анализа

В делительную воронку вводят 25–50 мл электролита (в зависимости от содержания сахарина), 3 мл соляной кислоты, 20 мл этилацетата, встряхивают 2–3 мин и после расслоения смеси отделяют водный слой. Этилацетатный экстракт промывают в делительной воронке 10 мл воды и после расслоения сливают водный слой (операцию промывания экстракта 10 мл воды повторяют дважды). Этилацетатный экстракт сливают в колбу емкостью 100 мл и промывают делительную воронку 10 мл спирта, сливая его в колбу с основным экстрактом. Добавляют 5 капель бромкрезолпурпура и титруют едким натром до появления синей окраски раствора. Параллельно проводят холостой опыт. Для чего через все стадии анализа проводят 35–50 мл электролита,

не содержащего сахараина. Содержание сахараина рассчитывается по формуле:

$$C_7H_5NO_3S = \frac{183,19 \cdot 0,02k \cdot 1,3(v - v_0)}{m}, \text{ г/л,}$$

где 183,19 — молекулярная масса сахараина; 0,02 — требуемая нормальность едкого натра; k — коэффициент нормальности 0,02н едкого натра; 1,3 — коэффициент экстракции; v — количество 0,02н едкого натра, израсходованного на титрование рабочей пробы, мл; v_0 — количество 0,02н едкого натра, израсходованного на титрование холостой пробы, мл; m — количество электролита, взятого для анализа, мл.

Определение сульфамата меди и сернокислой меди

Определение меди производят объемным йодометрическим методом.

Необходимые реактивы

Кислота серная (плотность 1,84) Разбавленная
в отношении 1:5
Натрий серноватистокислый 0,1н-раствор
Крахмал растворимый 0,5%-ный раствор
Раствор Брунса

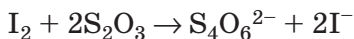
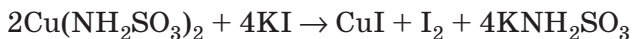
Приготовление раствора Брунса

130 г роданистого калия и 20 г йодистого калия в 1 л раствора.

Ход анализа

К аликвотной части раствора, содержащей 1 мл электролита, добавляют 50 мл воды и 5 мл серной кислоты. Кипятят 5 мин и охлаждают. Затем прибавляют еще 50 мл воды и 10 мл раствора Брунса и титруют выделившийся йод 0,1н-раствором серноватистокислового натрия в присутствии крахмала

(который добавляют в конце титрования) до исчезновения синей окраски раствора. При этом протекают реакции:



Содержание сульфамата меди в граммах на литр в электролите рассчитывается по формуле

$$\text{Cu}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 = \frac{aN258}{m}, \text{ г/л,}$$

где a — количество 0,1н-раствора серноватистокислого натрия, израсходованного на титрование, мл; N — нормальность раствора серноватистокислого натрия; m — количество электролита, взятого на анализ, мл; 258 — коэффициент пересчета на сульфаматную медь.

Содержание сернокислой меди рассчитывают по этой же методике, только при расчете используют коэффициент пересчета на сернокислую медь, равный 249.

Определение серной кислоты

Определение серной кислоты производят объемным ацидометрическим методом.

Необходимые реактивы

Метиловый оранжевый Индикатор
 Натр едкий 0,1н-раствор

Ход анализа

Аликвотную часть раствора, содержащую 1 мл электролита, разбавляют водой до 150–200 мл, добавляют 2–3 капли метилового оранжевого и титруют полученный раствор 0,1н-раствором едкого натра до перехода окраски раствора из розовой в желтую.

Расчет содержания серной кислоты производят по формуле

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{aT \cdot 1000}{m}, \text{ г/л,}$$

где a — количество 0,1н-раствора едкого натра, израсходованного на титрование, мл; T — титр 0,1н-раствора едкого натра по серной кислоте (теоретический титр 0,0049), г/мл; m — количество электролита, взятого на анализ, мл.

Определение пирофосфата калия

Сульфаматный электролит меднения содержит до 5 кг/м³ пирофосфата калия $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($1,3 \cdot 10^{-2}\text{M}$) в качестве выравнивающей добавки. Большая концентрация основных компонентов электролита затрудняет весовое определение пирофосфата калия, поэтому пирофосфат калия определяют спектрофотометрическим методом.

При колориметрическом анализе общего фосфата по экстинкции фосфорованадомолибдатного комплекса, с предварительной кислотной гидратацией пирофосфата до ортофосфата в горячем растворе азотной кислоты, многократный избыток меди и сульфаминовой кислоты не мешают определению. Присутствие ионов других металлов (железа, никеля, хрома, мышьяка) мешают только при концентрациях, сравнимых с концентрацией фосфата. Эта вероятность исключена по условиям электроосаждения меди. Состав фосфорованадомолибдатного комплекса: $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{HVO}_3 \cdot 11\text{MoO}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Реакция комплексобразования идет в кислом растворе (не менее 0,5н сильной кислоты). Комплекс имеет на глаз желтую окраску. Стойкость не менее одного месяца. Определение ведется по длинноволновому плечу полосы поглощения (максимум поглощения при $\nu = 315$ нм), начиная с $\nu = 400$ нм.

Необходимые реактивы

Молибдат аммония 5%-ный раствор
Ванадат аммония Раствор

Приготовление ванадата аммония

2,5–3,0 г ванадата аммония растворить в 500 мл горячей воды с добавлением в нее 20 мл 6н-азотной кислоты.

Ход анализа

25 мл исследуемого электролита смешивают с 5 мл 6н-азотной кислоты и кипятят 20 мин с вертикальным холодильником (во избежание выкипания раствора). Раствор охлаждают до комнатной температуры, доливают водой до 100 мл и тщательно перемешивают. Затем берут 2 мл полученного раствора и разбавляют его в 25 раз. К 50 мл полученного раствора добавляют 10 мл раствора молибдата аммония, 10 мл 6н-азотной кислоты и ванадата аммония (10 мл ванадата аммония смешивают с 20 мл воды). Полученный раствор выдерживают не менее двух часов, добиваясь стопроцентного формирования фосфорованадомолибдатного комплекса. Измерение светопоглощения ведут в односантиметровой кювете против раствора исследуемого электролита, разбавленного в 100 раз. Для точного определения используют стандартную калибровку по растворам фосфатов известной концентрации. Калибровка по трем длинам волн позволяет вести определение на любом современном спектрофотометре, как снабженном автоматической разверткой волнового числа, так и на обычном, с ручной установкой волнового числа. Для того чтобы вычислить концентрацию пирофосфата калия в определяемом растворе, необходимо умножить концентрацию фосфата, полученную по стандартной калибровочной сетке, на 3,844.

6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ОСАДКОВ

Измерения проводятся в электролитической ячейке прямоугольного сечения. У торцевых стенок ячейки размещают анод и катод. Материалом катода служит отожженная медь толщиной 0,1–0,3 мм. Перед измерением тыльную сторону катода изолируем клеем БФ-2. Верхний конец катода жестко закрепляем в контактном устройстве. При электролизе ведется наблюдение за смещением конца катода с помощью горизонтального измерительного микроскопа и отмечается смещение конца катода каждые 30 с от 0,5 до 5,0 мин. Величину внутренних напряжений в осадке рассчитывают по формуле

$$\sigma = E \frac{\delta_1^2 z}{\delta_2^2 l^2}, \text{ МПа,}$$

где E — модуль упругости материала катода, МПа; δ_1 — толщина катода, см; z — смещение конца катода, см; δ_2 — толщина осадка, см; l — длина рабочей части катода, см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вячеслав П. М., Волянюк Г. А.** Электролитическое формирование. — Л.: Машиностроение, 1979. — 187 с.
2. **Садаков Г. А.** Гальванопластика. — М.: Машиностроение, 2004. — 366 с.
3. **ОСТ 107.460087.001–86.** Пресс-формы пластмассовые. Типовые технологические процессы.
4. **Гальванотехника.** Под ред. Гинберга А. М., Иванова А. Ф., Кравченко Л. Л. — М.: Металлургия, 1987. — 736 с.
5. **Казначей Б. Я.** Гальванопластика в промышленности. — М.: Росгизместпром, 1955. — 175 с.
6. **Одноралов Н. В.** Гальванотехника в декоративном искусстве. — М.: Искусство, 1974. — 190 с.
7. **Попилов Л. Я.** Гальванопластика. — М.: Машгиз, 1961. — 64 с.
8. **Штурман А. А., Слотина Э. Д., Бубенко В. Я.** Изготовление пресс-форм гальванопластическим методом // Передовой научно-технический и производственный опыт. — М.: 1967, № 1–67–269/9.
9. **А. с. СССР № 185175.** Состав для изготовления разрушаемых восковых форм. Б.И 17.10.1963.
10. **Botosan R. A.** American Marhirist // Metalwork Manufacturing. — 1963. — 107. — № 22.
11. **Вячеслав П. М., Грилихес С. Я., Буркат Г. К.** и др. Гальванотехника благородных и редких металлов. — Л.: Машиностроение, 1970. — 112 с.
12. **Полукаров Ю. М., Семенова З. В.** Структура и механические свойства осадков никеля, полученных в присутствии поверхностно-активных веществ // Электрохимия. — 1976. — Т. 12. — Вып. 7. — С. 1153–1157.
13. **Федотьев Н. П., Вячеслав П. М., Захарова Т. П.** Предел прочности и микротвердость электролитического никеля // Сб. статей Института химии и химических технологий. — Вильнюс, 1967. — 238 с.
14. **Полукаров Ю. М., Семенова З. А., Моисеев В. П.** О состоянии серы в осадках никеля, полученных в серосодержащих добавках // Электрохимия. — 1976. — Т. 12. — Вып. 7.
15. **Матулис Ю. Ю.** и др. Блестящие электролитические покрытия. — Вильнюс: Минтис, 1969. — 613 с.
16. **Сутягина Л. А., Горбунова К. М.** Исследование процесса электрокристаллизации некоторых металлов в присутствии поверхностно-активных добавок, содержащих серу. Влияние условий электролиза на количество примесей в осадках никеля и определяемые им свойства // ЖФК. — Т. 35. — 1961.
17. **Сутягина Л. А.** К вопросу о механизме включения серы в гальванические осадки / Докл. ДАН СССР. — 1960. — Т. 17. — С. 131.

18. Ваграмян А. Т., Петрова Ю. С. Физическо-механические свойства электролитических осадков. — М.: АН СССР, 1960. — 205 с.

19. Рогинян А. Л., Козич Е. С. Внутренние напряжения в катодных никелевых осадках // ЖПХ. — 1968. — Вып. 4. — Т. 31. — С. 424–428.

20. Рогинян А. Л., Иоффе Э. Ш., Козич Е. С. и др. О влиянии водорода на механические свойства электролитического никеля // Докл. ДАН СССР. — 1965. — Т. 15. — 204 с.

21. Казначей Ю. Я., Балашова Н. Н., Шувалова М. А. Контроль антипиттинговых добавок в никелевых электролитах // Обзор статей химико-технологического факультета СЗПИ. — 1964. — 350 с.

22. Федотьев Н. П., Тихонов К. И. Исследование прочности электролитических осадков никеля // ЖПХ. — 1971. — Вып. 8.

23. Федотьев Н. П., Тихонов К. И. Исследование связи между пределом прочности и микротвердостью осадков электролитического никеля // ЖПХ. — 1971. — Вып. 9.

24. Мельников П. С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1979.

25. Ланда В. А. Основы конструирования и выбор материалов для моделей в гальванопластике. — М.: Мир, 1989. — С. 204.

26. ОСТ 107.757810.001–86. Изготовление волноводов методом гальванопластики. Типовые технологические процессы.

27. А.с. СССР № 1006548. Электролит меднения. — 1981. БИ 23.03.83. Бюл. № 11.

28. Петряев С. В., Лангин О. Н., Космачева Г. А. Фотополимерная оснастка для изготовления деталей и форм гальванопластикой. — Л.: Знание, 1986. — 17 с.

29. ОСТ 107. Детали, изготавливаемые методом гальванопластики. Типовые технологические процессы. 1989.

30. Петряев С. В., Лангин О. Н., Космачева Г. А. Изготовление деталей методом гальванопластики с использованием фотополимерных материалов // Обмен опытом в радиопромышленности. — 1986. — № 10. — С. 31–32.

31. Котик Ф. М. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1978. — 101 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Г л а в а 1. Изготовление формообразующих элементов пресс-форм	5
1.1. Технологическая схема изготовления формообразующих элементов пресс-форм	—
1.2. Подготовка поверхности металлических моделей к гальванопластическому осаждению рабочего слоя	10
1.3. Нанесение разделительных слоев	11
1.4. Подготовка моделей из диэлектриков	17
1.5. Нанесение рабочего слоя из электролитических ванн	26
1.6. Осаждение технологического подслоя	32
1.7. Механическая обработка формообразующего элемента перед установкой в обойму пресс-форм	47
Г л а в а 2. Изготовление тонкостенных полых изделий	51
2.1. Технология изготовления тонкостенных полых изделий путем наружного осаждения металла	—
2.2. Приготовление и корректирование серноокислых электролитов никелирования	67
Г л а в а 3. Изготовление волноводов	69
3.1. Общие понятия о волноводах	—
3.2. Технологические условия и выбор типовых представительных изделий для изготовления волноводов методом гальванопластики по эластичным моделям	71
3.3. Электролиты, применяемые для электроосаждения волноводов из меди	91
3.4. Описание технологического процесса изготовления волноводов	98
Г л а в а 4. Изготовление электрод-инструментов и плоских деталей	103
4.1. Последовательность изготовления электрод-инструментов	—
4.2. Технология изготовления сложнопрофильных плоских деталей с использованием фотополимерных материалов	107
4.3. Фотополимерные матрицы и мастер-модели из жидких композиций	116
Г л а в а 5. Оборудование и вспомогательная оснастка, используемая в гальванопластике	120
5.1. Оборудование для гальванопластического наращивания	—
5.2. Вспомогательная оснастка	130

Г л а в а 6. Методика проведения анализа электролитов	134
6.1. Определение содержания компонентов электролитов	—
6.2. Определение внутренних напряжений электролитических осадков	144
Список литературы	145

КУДРЯВЦЕВА ОЛЬГА ВАСИЛЬЕВНА окончила Ленинградский политехнический институт по специальности «металлургия цветных металлов». С 1976 г. по настоящее время работает в ОАО «Технологическое оснащение» (бывшее Ленинградское конструкторское бюро «Технологическое оснащение»), где занимается научно-исследовательской и практической работой, связанной с вопросами внедрения метода гальванопластики в промышленность.

Имеет 10 печатных работ в области гальванопластики, два авторских свидетельства и один патент. За активное содействие развитию производства и эксплуатации средств радио и телевидения награждена знаком «Почетный радист». Выступает с докладами на российских и международных семинарах и конференциях.

Область научных интересов: разработка и внедрение новых методик проведения процессов гальванопластики, связанных с изготовлением сложно-профильных объемных тонкостенных изделий из меди, никеля, никель-кобальтового сплава, а также процессов защиты деталей из диэлектриков от электромагнитного излучения.



ЭЛЕКТРОННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Ольга Васильевна Кудрявцева
ТЕХНИЧЕСКАЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

Библиотечка гальванопластика
6-е издание
Выпуск 2

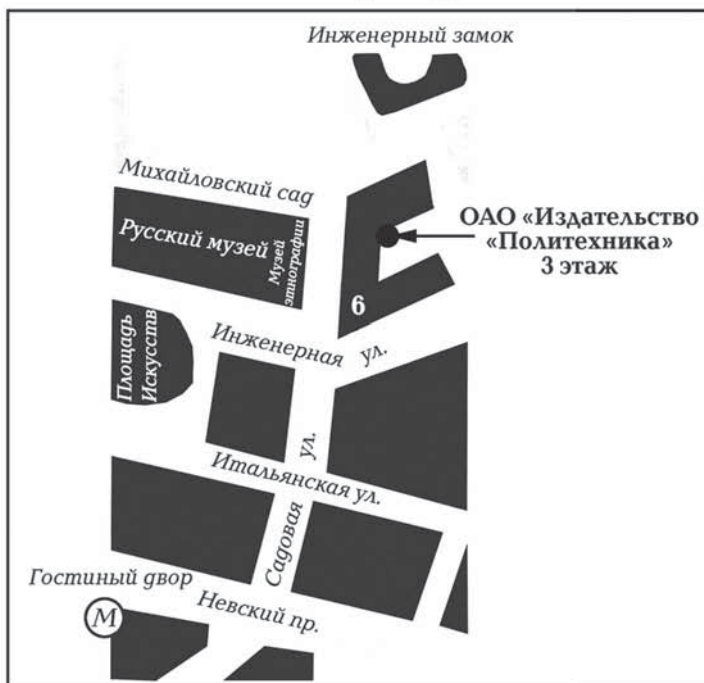
Главный редактор *Е. В. Шарова*
Редактор *Л. М. Манучарян*
Технический редактор *Т. М. Жилич*
Художник *М. Л. Черненко*
Корректоры *Е. П. Смирнова, Т. Н. Гринчук*
Компьютерная верстка *Г. А. Мирзоевой*

Подписано в печать 10.03.2011.
Электронных текстовых данных 1,8 Мб
Электронный текст подготовлен ОАО «Издательство «Политехника»».

191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.
www.polytechnics.ru

**Книги издательства «ПОЛИТЕХНИКА»
можно приобрести по адресу:**
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж
Тел./факс: **(812) 312-44-95,**
(812) 571-61-44.
Часы работы: с **10.00 до 18.00.**
Выходные: **суббота, воскресенье.**

Схема проезда:



**Книги издательства «ПОЛИТЕХНИКА»
можно заказать:**
— по e-mail: gfm@polytechnics.spb.ru
— через сайт: www.polytechnics.ru
— возможна отправка книг «Книга—почтой».
Книги рассылаются покупателям по России и СНГ.
Почтовые расходы составляют 40 % и выше от стоимости
заказанных Вами книг.