

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)

*А.А. ШАРОВ, О.В. ЛОМОВСКОЙ, Е.Г. ГРОМОВА*

## ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОБРАБОТКОЙ РЕЗАНИЕМ И ДАВЛЕНИЕМ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальностям 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение и направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК 621.98(075)

ББК 34.623я7

Ш264

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.А. М и х е в

гл. технолог АО РКЦ «Прогресс» Е.П. С е м е н е н к о

*Шаров, Андрей Алексеевич*

Ш264 **Процессы изготовления деталей летательных аппаратов  
обработкой резанием и давлением:** учеб. пособие / *А.А. Шаров,  
О.В. Ломовской, Е.Г. Громова.* – Самара: Изд-во Самарского ун-та. –  
2017. – 80 с.

**ISBN 978-5-7883-1172-2**

Содержатся сведения о некоторых аспектах процессов изготовления деталей летательных аппаратов резанием и давлением. Рассмотрены вопросы обработки деталей точением и вырезкой полиуретаном. Представлены инструмент для обработки, его технологические особенности и методики расчета основных технологических параметров. Приведены теоретические положения и рекомендации для выполнения лабораторных работ.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальностям 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение и направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

УДК 621.98(075)

ББК 34.623я7

ISBN 978-5-7883-1172-2

© Самарский университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Изготовление деталей летательных аппаратов точением.....	5
1.1 Современные токарные резцы.....	5
1.2 Рекомендации по исследованию конструкции инструмента.....	20
2 Силы резания при изготовлении деталей летательных аппаратов резанием.....	23
2.1 Влияние геометрических параметров режущего инструмента на действующие силы .....	23
2.2 Рекомендации по исследованию влияния геометрии инструмента на силы резания.....	28
3 Изготовление резьбы на деталях летательных аппаратов метчиками.....	32
3.1 Современные метчики	32
3.2 Рекомендации по исследованию работоспособности метчиков.....	38
4 Изготовление деталей летательных аппаратов вырубкой - пробивкой эластомерами.....	47
4.1 Технология вырубki-пробивки эластомерами.....	48
4.2 Рекомендации по исследованию процесса вырубki-пробивки эластомерами.....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ. МИКРОСКОП МАЛЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ММИ-2. Краткое описание и руководство к пользованию.....	69

## ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении деталей авиационной, космической и машиностроительных отраслей промышленного производства широко применяются технологические процессы, направленные на отделение от поверхности заготовки «лишнего» материала.

Таковыми процессами являются достаточно широко распространённые процессы обработки деталей точением и вырубкой-пробивкой эластомерами для листовых деталей.

В современных условиях рыночной конкуренции грамотное использование оптимального инструмента и режимов обработки позволяет минимизировать производственные затраты и снизить себестоимость изготовления деталей. Что, в свою очередь, ведёт к снижению стоимости основной продукции и, как следствие, создаёт условия для успешной конкуренции на рынке.

Этому способствуют знания конструкций современных инструментов для токарной обработки и нарезания резьбы, а также знание процессов вырубki-пробивки эластомерами для листовых деталей.

Теоретические сведения и практические рекомендации, приведенные в данном пособии, позволят более эффективно решать вопросы по использованию инструмента и назначению режимов обработки при разработке технологических процессов изготовления деталей.

# 1 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ТОЧЕНИЕМ

В производстве летательных аппаратов достаточно широко применяется обработка точением. В качестве режущего инструмента используются резцы, прежде всего токарные.

## 1.1 Современные токарные резцы

### ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

В общем случае резец состоит из двух частей (рис. 1.1): державки (высотой  $H$  и шириной  $B$ ), за которую он укрепляется в резцедержателе станка, и головки, на которой формируется режущая часть.

Поверхности режущей части головки резца определяются в зависимости от их расположения к обрабатываемой заготовке 1 (рис. 1.2), на которой различают поверхность резания 3, обрабатываемую 2 и обработанную 4 поверхности.

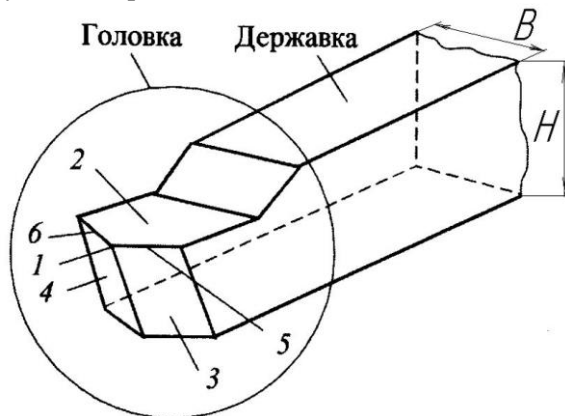


Рис. 1.1. Токарный проходной резец

**Поверхность резания** – это поверхность, образуемая главной режущей кромкой лезвия резца в суммарном движении режущего инструмента относительно заготовки, включающем главное движение резания  $n$  и движение подачи  $S_x$ .

На головке резца выделяются следующие элементы (рис. 1.1):

- Передняя поверхность 2 – это поверхность головки инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.
- Главная задняя поверхность 3 – это поверхность головки, контактирующая с поверхностью резания на заготовке и направленная в сторону движения подачи.
- Вспомогательная задняя поверхность 4 – поверхность головки, направленная в сторону обработанной поверхности на заготовке.
- Главная режущая кромка 5 – кромка, образуемая в результате пересечения передней и главной задней поверхностей головки резца.
- Вспомогательная режущая кромка 6 – кромка, образуемая в результате пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей.
- Вершина резца 1 – это точка сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок.

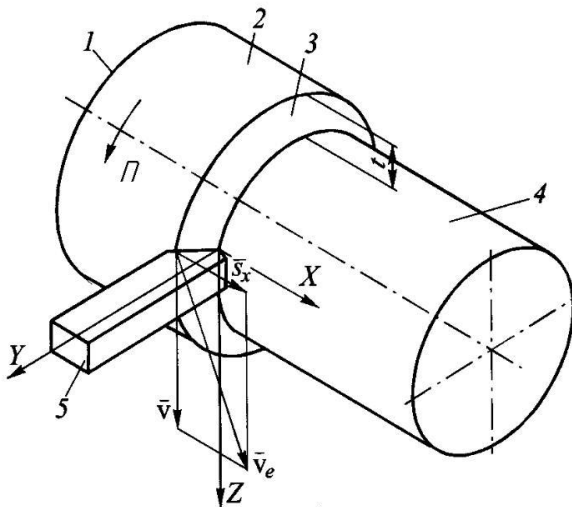


Рис. 1.2. Поверхности заготовки при токарной обработке проходным резцом

## ГЕОМЕТРИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ

Геометрия резца, т. е. взаимное расположение поверхностей его режущей части, может рассматриваться в статической, кинематической или инструментальной системах координат.

Для определения углов резца как геометрического тела принимают инструментальную систему. Это прямоугольная система координат с началом в вершине резца, ориентированная относительно его геометрических элементов, о принятых за базу. Инструментальная система координат применяется при изготовлении, контроле или эскизировании инструментов. В этой системе координатные плоскости удобно ориентировать относительно направления скорости главного движения резания, но в этом случае принимается, что это направление проходит перпендикулярно конструкторской установочной базе резца, т. е. перпендикулярно его основанию. Тогда координатные плоскости инструментальной системы будут расположены так, как показано на рис. 1.3.

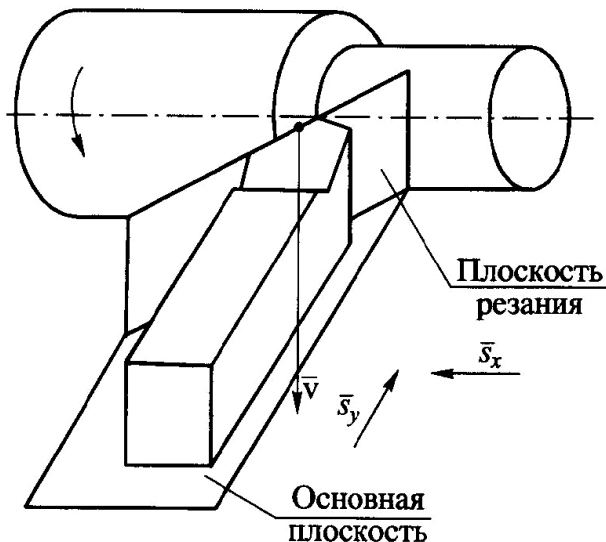


Рис. 1.3. Инструментальная система координат

**Основная плоскость** – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно

направлению скорости главного движения резания в этой точке  $V$ , или плоскость, параллельная установочной базе резца (его основанию).

**Плоскость резания** – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

**Главная секущая плоскость  $N-N$**  (рис. 1.4) – координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

**Вспомогательная секущая плоскость  $N_1-N_1$**  (рис. 1.4) – координатная плоскость, проходящая перпендикулярно проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

УГЛЫ В ГЛАВНОЙ СЕКУЩЕЙ ПЛОСКОСТИ ( $N-N$ )

**Главный передний угол  $\gamma$**  – угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью.

Главный передний угол оказывает влияние на прочность, стойкость резца и вид стружки. Его значение изменяться в пределах  $\gamma = -20^\circ \dots +30^\circ$ . При обработке материалов с малой прочностью или легких сплавов  $\gamma = 20^\circ \dots 30^\circ$ , при обработке высокопрочных материалов или заготовок с прерывистой поверхностью  $\gamma = -20^\circ \dots 0^\circ$ .

**Главный задний угол  $\alpha$**  – угол в главной секущей плоскости между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Главный задний угол  $\alpha$  оказывает большое влияние на прочность и стойкость инструмента, на величину составляющих силы резания и высоту шероховатости обработанной поверхности. Чем прочнее обрабатываемый материал, тем меньше должен быть угол  $\alpha$ . С увеличением угла  $\alpha$  уменьшаются шероховатость обработанной поверхности и силы резания. Его значение обычно колеблется в пределах  $\alpha = 4^\circ \dots 20^\circ$ .

**Угол резания  $\delta$**  – угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца.

**Угол заострения  $\beta$**  – это угол между главной задней и передней поверхностями резца. Рассмотренные углы связаны следующими соотношениями:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad (1.1)$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ \quad (1.2)$$



Из соотношения (1.2) определяется знак переднего угла: если  $\delta < 90^\circ$ ,  $\gamma$  положителен; если  $\delta > 90^\circ$ ,  $\gamma$  отрицателен и если  $\delta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ .

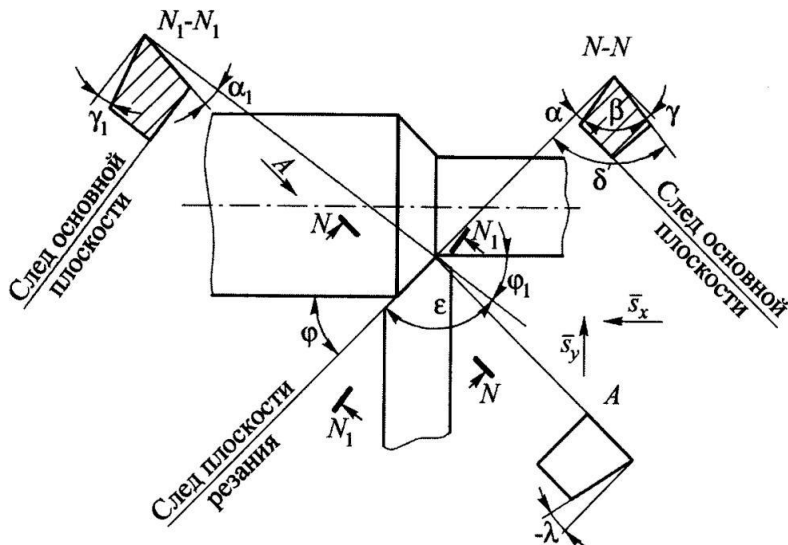


Рис.1.4. Геометрические параметры режущей части токарного проходного резца

**Угол заострения  $\beta$**  – это угол между главной задней и передней поверхностями резца. Рассмотренные углы связаны следующими соотношениями:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad (1.1)$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ. \quad (1.2)$$

Из соотношения (1.2) определяется знак переднего угла: если  $\delta < 90^\circ$ ,  $\gamma$  положителен; если  $\delta > 90^\circ$ ,  $\gamma$  отрицателен и если  $\delta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ .

УГЛЫ ВО ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СЕКУЩЕЙ ПЛОСКОСТИ ( $N_1-N_1$ )

**Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$**  — это угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью. Его знак определяется аналогично знаку главного переднего угла  $\gamma$ . Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$  чаще всего не задается, так как получается в результате заточки других углов.

**Вспомогательный задний угол**  $\alpha_1$  – это угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, касательной к этой кромке в той же точке, проходящей перпендикулярно к основной плоскости.

Вспомогательный задний угол обычно выбирается равным главному заднему, т. е.  $\alpha = \alpha_1$ , за исключением инструментов с низкой прочностью (тогда его значение изменяется в пределах  $\alpha_1 = 0,5^\circ \dots 2^\circ$ ).

#### УГЛЫ В ПЛАНЕ

**Главный угол в плане**  $\varphi$  – это угол в основной плоскости между направлением подачи и плоскостью резания.

**Вспомогательный угол в плане**  $\varphi_1$  – это угол в основной плоскости между направлением подачи и плоскостью, касательной к вспомогательной режущей кромке в рассматриваемой точке, проходящей перпендикулярно к основной плоскости.

Изменение величины углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$  оказывает влияние на прочность резца, его стойкость, величину и соотношение составляющих сил резания, особенно их значения влияют на высоту шероховатости обработанной поверхности. Уменьшение величины этих углов приводит к увеличению прочности и стойкости резца, снижает высоту шероховатости обработанной поверхности, но увеличивает радиальную составляющую силы резания.

**Угол при вершине резца**  $\varepsilon$  – это угол в основной плоскости между плоскостью резания и плоскостью, касательной к вспомогательной режущей кромке в рассматриваемой точке.

#### УГЛЫ НАКЛОНОВ РЕЖУЩИХ КРОМОК

**Угол наклона главной режущей кромки**  $\lambda$  – это угол в плоскости резания между основной плоскостью и линией, касательной к главной режущей кромке.

**Угол наклона вспомогательной режущей кромки**  $\lambda_1$  – это угол в плоскости, проходящей перпендикулярно основной плоскости и касательно к вспомогательной режущей кромке в рассматриваемой точке, между основной плоскостью и линией, касательной в той же точке.

Угол наклона рассматриваемой режущей кромки считается положительным, если вершина резца является самой нижней точкой на

этой кромке, и отрицательным, если вершина резца является наивысшей точкой рассматриваемой кромки. Если режущая кромка лежит в основной плоскости, то угол  $\lambda$  или  $\lambda_1$  будет равен нулю.

Угол наклона главной режущей кромки определяет высоту шероховатости обработанной поверхности и особенно направление схода стружки. Величина этого угла может изменяться в пределах  $\lambda = -15^\circ \dots 15^\circ$ , но обычно его значение колеблется в пределах  $\lambda = -5^\circ \dots 5^\circ$ . Если угол  $\lambda$  имеет положительное значение, то стружка отводится в сторону обработанной поверхности заготовки, поэтому такое расположение главной режущей кромки применяют при черновых и получистовых операциях. При чистовых операциях  $\lambda$  должен быть отрицательным, так как в этом случае стружка отводится вперед по направлению движения резца, в сторону необработанной поверхности заготовки. Угол наклона вспомогательной режущей кромки  $\lambda_1$  чаще всего не задается, так как получается в результате заточки других углов.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗЦАХ

Головка обычного резца и зуб любого многолезвийного инструмента принципиально одинаковы по форме. Поэтому геометрические параметры режущей части резца схожи с аналогичными параметрами рабочей части многозубых режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток, фрез, протяжек и др.). Резцы общего назначения предназначены для обработки плоских, цилиндрических, конических, торцовых поверхностей, а также для прорезки канавок и отрезки заготовок. Для получения поверхностей сложного профиля и некоторых других работ часто используют специальные резцы, например, резьбовые, фасонные и др.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЗЦОВ

Резцы различают по следующим признакам:

а) по типу станков: токарные, строгальные, долбежные, расточные для горизонтально-расточных станков, автоматически-револьверные, специальные;

б) по виду обработки: проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, галтельные, резьбонарезные, фасонные;

в) по характеру обработки: обдирочные (черновые), чистовые, для тонкого точения;

г) по форме поперечного сечения стержня: прямоугольные, квадратные, круглые;

д) по конструкции головки: прямые, отогнутые, изогнутые и с оттянутой головкой;

е) по расположению главной режущей кромки или направлению подачи: правые и левые;

ж) по материалу режущей части: твердосплавные, минералокерамические, быстрорежущие, алмазные, из сверхтвердых синтетических материалов, из малолегированной или углеродистой стали;

з) по установке относительно детали: радиальные и тангенциальные;

и) по способу изготовления: цельные, составные (с приваренной встык головкой, с наваренной, напаянной или наклеенной пластиной) и сборные (с механическим креплением пластин или вставок).

На рис. 1.5 показаны наиболее распространенные типы резцов общего назначения. Проходные резцы для обработки наружных цилиндрических поверхностей могут быть отогнутыми и прямыми (рис. 1.5, а, б). Отогнутые резцы получили широкое распространение вследствие их универсальности, позволяющей обрабатывать не только цилиндрические, но и торцовые поверхности с поперечной подачей, а в некоторых случаях даже растачивать отверстия.

Проходные упорные резцы (рис. 1.5, в, д, е) имеют угол в плане  $\varphi \geq 90^\circ$ . Их применяют при обтачивании ступенчатых валов и жестких деталей.

Отрезные резцы (рис. 1.5, г) используют для отрезки заготовок или деталей, обработанных из прутка. Чистовые широкие резцы с нулевым главным углом в плане (рис. 1.5, ж) предназначены для чистовой обработки с малыми припусками и большими подачами.

Расточные резцы используют для обработки сквозных (рис. 1.5, з) и глухих (рис. 1.5, и) отверстий.

На рис. 1.5, к приведен резец, предназначенный для нарезания резьбы, который так и называется – резьбонарезной или резьбовой.

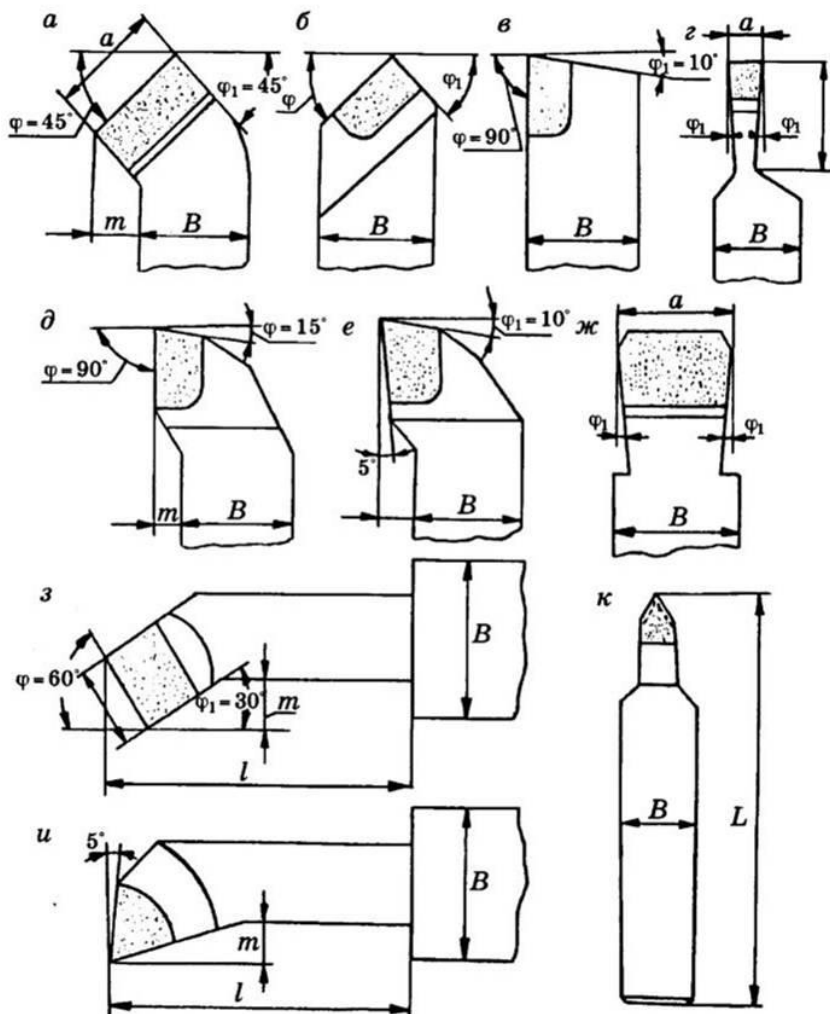


Рис. 1.5. Основные типы токарных резцов

РЕЗЦЫ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНКАМИ (СМП)

Сборные резцы и резцовые вставки с механическим креплением – СМП получили широкое распространение в инструментальном

обеспечении металлорежущего оборудования, особенно станков с ЧПУ, вследствие их существенных преимуществ по сравнению с твердосплавными инструментами составной конструкции. Иногда их называют резцами с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП). Особенности и преимущества использования резцов СМП следующие: возможна быстрая смена износившейся пластины или кромки; отсутствует операция затачивания резцов; повышается прочность лезвия из-за отсутствия внутренних напряжений, возникающих при пайке; облегчается утилизация дорогостоящих инструментальных материалов; экономится конструкционная сталь вследствие длительной службы корпуса резца. Использование резцов с СМП вместо напайных позволяет до пяти раз уменьшить затраты на резцы.

Согласно ГОСТ 19042–80, многогранные пластины разделяют на режущие, опорные и стружколомы. Режущие пластины используют по назначению, опорные служат опорой режущих пластин, обеспечивают их точное базирование и продолжительный срок службы державки, так как исключают порчу державки при поломке режущей пластины. Стружколомы дробят стружку. Пластины для проектируемого инструмента подбирают по ГОСТ 19042-80 – 19086-80, 24247-80 – 24257-80 (твердосплавные) и ГОСТ 25003-81 (минералокерамические) с учетом характера работы, выполняемой резцом.

Конструкции резцов с СМП отличаются большим разнообразием применяемых способов крепления. В соответствии с Международной системой стандартов (ISO) используются четыре типа крепления пластин (рис. 1.6): прихватом сверху (*a*, *b*), штифтом и прихватом (*e*), штифтом (*z*), винтом (*d*). В соответствии с ISO 1832–1991 эти методы крепления кодируются соответственно буквами C, D, M, P и S.

Крепление прихватом применяют для пластин без отверстия. Они устанавливаются в гнезда и базируются по их опорной и боковым поверхностям. Для пластин с отверстием при тех же условиях используется специальный прихват для крепления с высокой жесткостью.

В случае крепления только штифтом обеспечивается прижим пластины к боковым базовым поверхностям гнезда паза державки. Точное прилегание опорной поверхности режущей пластины к опорной пластине не гарантируется.

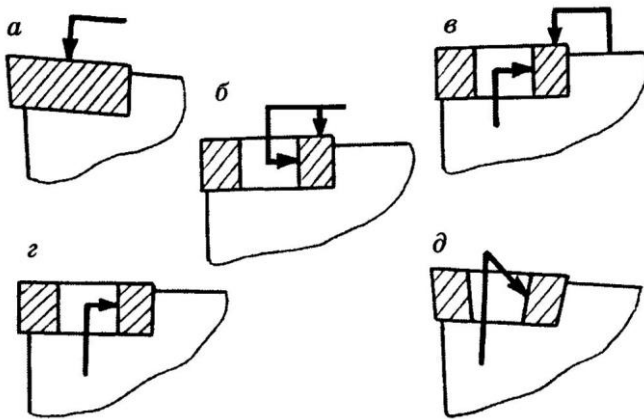


Рис. 1.6. Схемы крепления СМП в корпусах инструментов

Крепление винтом с конической головкой предусматривают для пластин с коническим или тороидальным отверстием. При этом ось винта сдвинута на 0,15 мм относительно оси отверстия пластины, что обеспечивает прижим пластины к опорной и боковым сторонам закрытого гнезда державки.

Все конструкции сборных резцов можно разделить на три типа:

- 1) с силовым замыканием на боковые грани режущей пластины, имеющей центральное отверстие;
- 2) с силовым замыканием только на опорную грань режущей пластины или совместно с п. 1;
- 3) с креплением блок-вставок в корпусе инструмента.

Кроме того, в конструкциях первого типа можно выделить способы крепления: рычажные и тяговые (рис. 1.7, 1–5), клиновые и эксцентриковые (рис. 1.7, 6–10).

Резец (рис. 1.7, 1) конструкции фирмы "Сандвик Коромант" состоит из корпуса 1, режущей пластины 2, Г-образного рычага 3, подкладки 4, втулки 5 и винта 6. Закрепление пластины осуществляется завинчиванием винта 6, который поворачивает Г-образный рычаг 3 вокруг его вершины по ходу часовой стрелки. Один конец рычага входит в канавку винта 6, а второй — в отверстие пластины 2. К достоинствам этого резца можно отнести простоту его обслуживания и высокую точность базирования режущей пластины в пазу державки. Недостаток — большая трудоемкость изготовления

резца, низкая надежность при обработке хрупких материалов из-за попадания мелкой стружки и окалины внутрь гнезда корпуса, возможное наличие зазора под вершиной режущей пластины.

Два первых недостатка исключены в конструкции резца, разработанного ВНИИ (рис. 1.7, 2). Его Г-образный рычаг выполнен сборным и состоит из штифта 3 с буртиком в средней его части и планки 5. Головка штифта расположена в отверстии режущей пластины 2, а резьбовая часть — в резьбовом отверстии планки. Кроме того, пластина 2 установлена на подкладку 4. При закреплении пластины 2 винт 6 ввинчивают в отверстие корпуса 1 и он своим заостренным концом нажимает на планку 5 и поворачивает штифт 3 относительно его буртика. Достоинством этого резца по сравнению с предыдущим является повышенная технологичность конструкции, а недостатком — низкая прочность и жесткость рычага, из-за чего резец может быть применен в основном при чистовой или получистовой обработке.

Резцы, показанные на рис. 1.7, 3 и 1.7, 4, отличаются повышенной технологичностью, малым числом комплектующих деталей и простотой эксплуатации. Так, например, зажим пластины 2 (рис. 1.7, 3) осуществляется штифтом 3, который, ввинчиваясь в отверстие корпуса 1, деформируется (изгибается) и своей головкой прижимает пластину к стенке паза державки.

В конструкцию резца на рис. 1.7, 4 введена дополнительная подкладка 2, которая предохраняет от пластической деформации паз державки 1 при поломке режущей пластины 3. Недостатком этой конструкции являются высокие требования к точности изготовления корпуса и штифта.

Крепление режущей пластины 4 резца на рис. 1.7, 5 происходит при завинчивании винта 2, который перемещает тягу 3 вдоль ее оси. При этом головка тяги 3 перемещается в направлении опорной стенки гнезда корпуса 1 и прижимает к ней пластину. Конструкция резца имеет минимальное количество деталей. Недостаток — высокая вероятность повреждения корпуса при разрушении пластины.

Клиновые способы крепления пластины представлены на рис. 1.8, 6–9. Резец конструкции ВНИИ (рис. 1.7, 6) является одним из первых отечественных сборных резцов. Закрепление пластины 5, установленной на штифте 4, осуществляется путем завинчивания винта 3 в державке 1, который перемещает вниз зажимной клин 2. Такая конструкция проста, но при закреплении пластины возникает ее перекося, а точность размеров обрабатываемых деталей при повороте режущей пластины нестабильна.



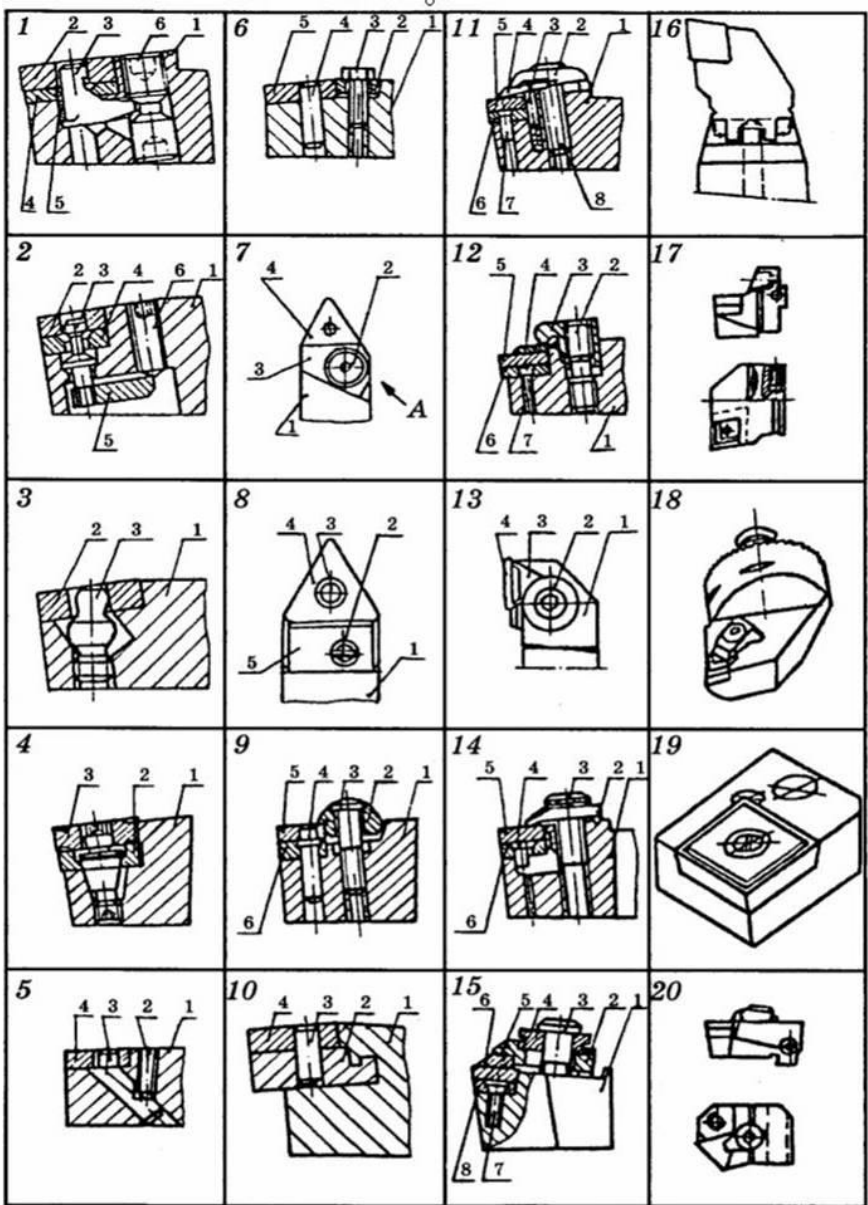


Рис. 1.7. Способы крепления СМП на резцах и резцовых вставках

Конструкция резца фирмы "Фатесто Секо" (Швеция, рис. 1.7, 7), кроме деталей стандартного резца конструкции ВНИИ, включает винт 2 с эксцентриковой головкой. При завинчивании винта 2 клин 5 смещается в горизонтальной плоскости вдоль паза корпуса 1 (по стрелке А) и прижимает режущую пластину 4 к штифту 3. Такая конструкция обеспечивает гарантированное положение линии контакта клина с режущей пластиной.

Особенности конструкции резца (рис. 1.7, 8): ось винта 2 смещена относительно отверстия в корпусе 1; поверхность клина 5, контактирующая с пластиной 4, выполнена выпуклой, что повышает надежность крепления.

Для уменьшения зазора между режущей пластиной 5 и подкладкой 6 фирмой "Сандвик Коромант" предложена форма клина 2, который при завинчивании винта 3 в корпусе 1 прижимает режущую пластину одновременно к подкладке и штифту 4 (рис. 1.7, 9). Недостатками такой конструкции являются жесткие требования к точности изготовления всех элементов резца. Этого недостатка лишена конструкция резца (рис. 1.7, 10), у которого режущая пластина 4 закреплена на подвижном элементе 2. Подвижной элемент имеет призматическую направляющую, которая входит в соответствующий паз корпуса 1. Кроме того, направляющая имеет форму клина. Таким образом, при закреплении пластины в резце она устанавливается на штифт 3, подвижной элемент 2 перемещается в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, и за счет клиновой направляющей прижимает пластину к стенке паза корпуса 1. Недостатками такого резца являются низкая жесткость конструкции и нестабильная точность обработки.

Совершенствование конструкций резцов второго типа (рис. 1.8, 11–15) осуществляется по следующим направлениям:

- обеспечение надежного стружколомания (рис. 1.7, 11–15);
- упрощение конструкций и повышение их технологичности (рис. 1.7, 12; 1.7, 13);
- расширение степени универсальности (рис. 1.7, 14).

В конструкции резца (рис. 1.7, 11) закрепление пластины 5, установленной на подкладке 6 и штифте 7, осуществляется прижимом 2 и винтом 8. Прижим 2 опирается на регулируемый стружколом 4, который удерживается в контакте с ним подпружиненным толкателем 3, не позволяющим стружколому выпадать из корпуса 1 при замене пластины. На рис. 1.7, 15 конструкция прижима 2 выполнена сборной, что повышает его универсальность.

В резце (рис. 1.7, 12) режущая пластина 5 установлена на подкладку 6, закрепленную в корпусе 1 винтом 7. Сверху на пластине размещен стружколом 4, прижатый к пластине Г-образным прижимом 3 с винтом 2. Такая конструкция резца требует изготовления закрытых пазов под пластину, что увеличивает трудоемкость изготовления резца.

Резец на рис. 1.7, 13 отличается от предыдущего тем, что функции прижима выполняет винт 2 с большим диаметром головки и осью, наклоненной под углом  $7^\circ$  к оси пластины. Такая конструкция позволяет одним винтом прижимать пластину 4 и стружколом 3 к нижней и боковой стенкам паза корпуса 1.

Отличительная особенность резца на рис. 1.7, 14 – возможность закрепления в его корпусе 1 как режущих пластин с центральным отверстием, так и без него. При закреплении пластины 5 без центрального отверстия она устанавливается на подкладку 6 со штифтом 4 и прижимается винтом 3 через прижим 2. Для пластины с центральным отверстием в паз корпуса под подкладкой устанавливается Г-образный прижим, а прижим 2 и винт 3 заменяют на винт, аналогичный винту у резца на рис. 1.7, 1.

Совершенствование резцов третьего типа (рис. 1.7, 16–20) направлено на обеспечение технологичности резцовых блоков (вставок) и повышение их универсальности. Резцовые блоки фирмы "Сандвик Коромант" (рис. 1.7, 16), "Баку-эр" (рис. 1.7, 17) и "Хертель" (рис. 1.7, 18) предназначены в основном для расточных резцов и борштанг. Достоинством этих конструкций является сокращение на 40–50 % номенклатуры инструмента (такие резцовые вставки можно крепить в корпусах многих инструментов) и обеспечение возможности регулирования размера обрабатываемых отверстий. Недостатком является высокая трудоемкость изготовления.

Резцовые блок-вставки (рис. 1.7, 19; 1.8, 20) обладают более высокой технологичностью и универсальностью, позволяющей использовать их в конструкциях резцов, осевых инструментов и фрез.

## 1.2 Рекомендации по исследованию конструкции инструмента

### Выполнение замеров

Знакомство с геометрией резца происходит в процессе его обмера. Измерение линейных размеров производится штангенциркулем. Измерение углов проводят универсальными угломерами.

Примеры использования универсальных угломеров приведены на рис. 1.8, 1, 1.10, 1.11.

Результаты измерения углов резцов заносятся в отчет в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1. Результаты измерения резцов

Тип резца	Основные размеры резца, мм	Передний угол, град	Главный задний угол, град	Вспомогательный задний угол, град	Главный угол в плане, град	Вспомогательный угол в плане, град	Угол наклона главной режущей кромки, град
	$B \times H \times L$ или $D \times d \times L$	$\gamma$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\varphi$	$\varphi_1$	$\lambda$

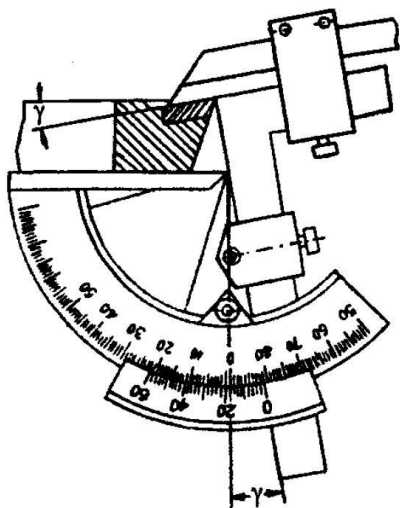


Рис. 1.8. Измерение передних углов резцов

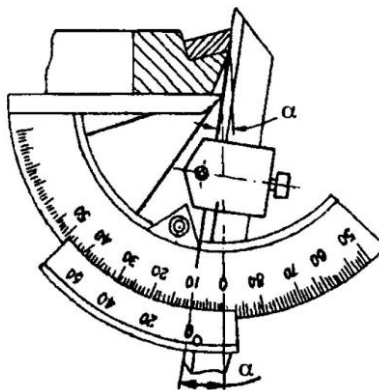


Рис.1.9. Измерение задних углов резцов

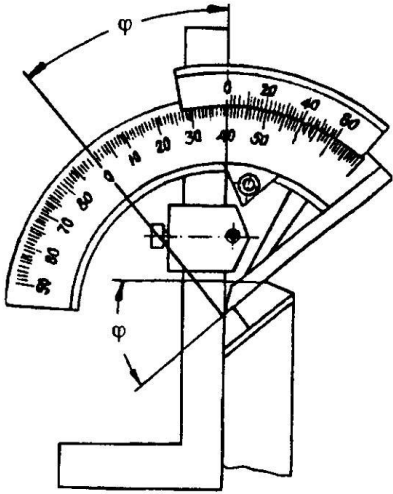


Рис. 1.10. Измерение углов в плане резцов

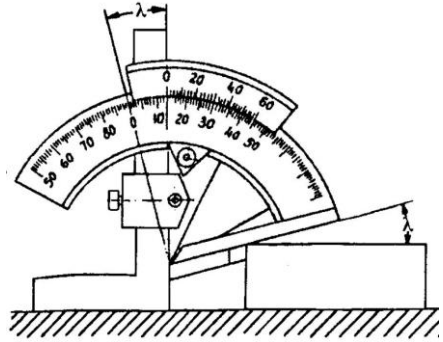


Рис. 1.11. Измерение угла наклона режущей кромки резца

### Задание

1. Изучить классификацию и конструкции токарных резцов.
2. Выполнить эскиз токарного резца.
3. Выполнить замеры углов резца и занести их в таблицу.

### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретические положения, касающиеся токарных резцов.
2. Изучить способы крепления СМП на корпусах резцов.
3. Определить тип заданного резца.
4. Вычертить эскиз резца с указанием размеров и углов.
5. Изучить методику выполнения замеров углов резцов универсальными угломерами.
6. Измерить углы резца.
7. Сделать выводы по проведенным исследованиям.

### **Содержание отчёта**

1. Краткие сведения о токарных резцах.
2. Эскиз токарного резца согласно заданию.
3. Результаты замера углов резца.
4. Выводы по работе

### **Контрольные вопросы**

1. Какие углы влияют на стойкость резца?
2. Какие углы влияют на шероховатость обработанной поверхности?
3. В чем преимущества резцов с СМП?

## 2 СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ РЕЗАНИЕМ

### 2.1 Влияние геометрических параметров режущего инструмента на действующие силы

При изготовлении деталей механической обработкой в большинстве случаев процесс резания материала происходит в условиях несвободного резания.

При несвободном резании трехмерная зона стружкообразования определяет соответствующую систему сил, отличающуюся от свободного резания (рис. 2.1). В этом случае равнодействующая сила резания  $R$  при точении заготовки проходным резцом может быть разложена на технологические составляющие:  $P_z$  – главная составляющая, действует в направлении вектора окружной скорости  $v$  и определяет мощность главного привода станка;  $P_x$  – осевая составляющая, действует вдоль оси заготовки параллельно подаче  $\bar{s}_x$  и определяет нагрузку на механизм подачи станка;  $P_y$  – радиальная составляющая, направлена по оси  $Y$  радиально к оси заготовки и определяет силу отжатия резца от заготовки. При невысокой жесткости заготовки эта составляющая влияет на погрешности формы и размера детали.

Технологические составляющие силы резания используют при расчете механизмов станка и конструировании приспособлений, а также при решении ряда конструкторских и технологических задач.

Составляющие  $P_x$  и  $P_y$ , складываясь, дают промежуточную равнодействующую  $P_{xy}$  лежащую в основной плоскости, т. е.

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}. \quad (2.1)$$

Равнодействующая  $P_{xy}$  по своему направлению совпадает с направлением схода стружки, а соотношение величин ее составляющих зависит от углов схода стружки  $\eta$  и главного угла в плане  $\phi$ . О величинах силы резания  $R$  и ее составляющих можно судить на примере точения углеродистой стали средней твердости при

$\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0$ ,  $\gamma = 15^\circ$  и отношении  $t/s > 1$  по следующим приближенным значениям:

$$P_z : P_y : P_x = 1 : (0,4 \dots 0,5) : (0,25 \dots 0,3). \quad (2.2)$$

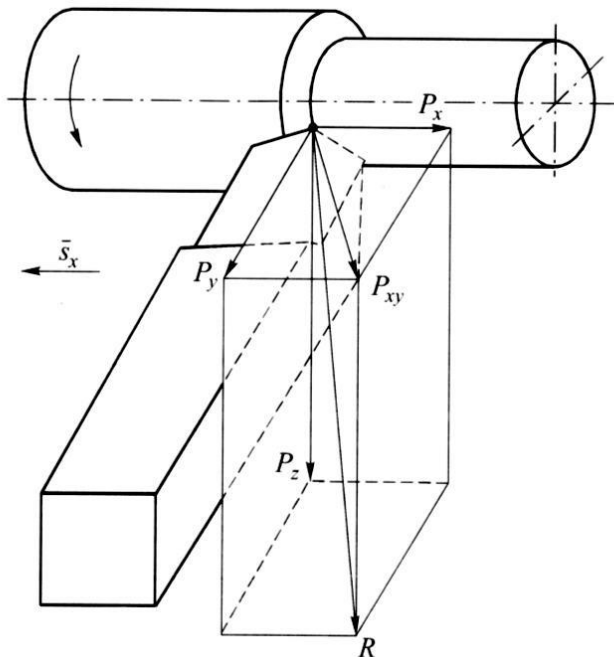


Рис. 2.1. Схема разложения равнодействующей силы резания  $R$  на составляющие  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$

При этом равнодействующая сила резания  $R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$  или  $R = (1,1 \dots 1,15) P_z$ .

Из приведенного примера видно, что сила резания (стружкообразования)  $R$  определяется главным образом величиной главной составляющей  $P_z$  и мало от нее отличается. При анализе процесса резания было установлено, что сила резания зависит от параметров срезаемого слоя, степени деформации металла и величины касательных напряжений, которые, в свою очередь, зависят от свойств



обрабатываемого материала, геометрии инструмента и ряда других факторов. Получены теоретические уравнения, позволяющие качественно, а иногда и количественно оценить уровень и силу резания  $R$  и ее составляющих  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$ , а также оценить влияние на эти составляющие отдельных факторов режима резания.

На практике силы резания и их составляющие рассчитывают по эмпирическим уравнениям, полученным на основании математической обработки опытных данных и представляющим собой обобщенные эмпирические уравнения для расчетов составляющих сил резания. Они учитывают влияние основных параметров режима резания и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} P_z &= C_{pz} t^{x_{pz}} s^{y_{pz}} v^{n_{pz}} K_{pz}; \\ P_x &= C_{px} t^{x_{px}} s^{y_{px}} v^{n_{px}} K_{px}; \\ P_y &= C_{py} t^{x_{py}} s^{y_{py}} v^{n_{py}} K_{py}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

В этих уравнениях показатели степеней отражают влияние параметров режимов резания ( $v$ ,  $s$ ,  $t$ ) на составляющие силы резания. Коэффициенты  $K_{pz}$ ,  $K_{px}$  и  $K_{py}$  – поправочные коэффициенты, которые учитывают конкретные условия работы. (В большинстве случаев принимаются равными 1.) При этом значения показателей степеней и коэффициентов берут в нормативах по режимам резания.

В табл. 2.1 в качестве примера приведены значения показателей степени для случая точения сталей средней твердости.

На показатели степеней в уравнениях для расчета составляющих  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$  существенное влияние оказывает главный угол в плане  $\varphi$ . Поэтому значения показателей степеней различны по величине. В табл. 2.1 указаны показатели степеней для случая, когда главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ . Если же угол  $\varphi$  отличается от  $45^\circ$ , то вводят поправочный коэффициент  $K_\varphi$  (табл. 2.2).

На величину главной составляющей силы резания  $P_z$  угол  $\varphi$  практически не влияет и может не учитываться.

Значения коэффициентов  $C_{pz}$ ,  $C_{py}$  и  $C_{px}$  в уравнениях (2.3) для некоторых обрабатываемых материалов показаны в табл. 2.3.

Таблица 2.1. Некоторые значения показателей степеней в уравнениях (2.2)

Инструментальный материал	$P_z$			$P_y$			$P_x$		
	$x_{pz}$	$u_{pz}$	$n_{pz}$	$x_{py}$	$u_{py}$	$n_{py}$	$x_{px}$	$u_{px}$	$n_{px}$
Твердый сплав	1,0	0,75	-0,15	0,9	0,6	-0,3	1,0	0,5	-0,4
Быстрорежущая сталь	1,0	0,75	0	0,9	0,75	0	1,2	0,65	0

Таблица 2.2. Влияние главного угла в плане  $\varphi$  на значения поправочного коэффициента  $K_\varphi$

Составляющие силы резания	Обрабатываемый материал	Главный угол в плане $\varphi$			
		45°	60°	75°	90°
$P_x$	Сталь	1	1,27	1,51	1,8
	Чугун	1	1,41	1,2	1,2
$P_y$	Сталь	1	0,71	0,54	0,4
	Чугун	1	0,87	0,77	0,7

Таблица 2.3. Значения коэффициентов в уравнениях (2.3)

Обрабатываемый материал	$C_{pz}$	$C_{py}$	$C_{px}$
Сталь конструкционная $\sigma_b = 735$ МПа	300	243	339
Чугун серый 186 НВ	92	54	46
Сталь хромоникелевая X18Н9Т	330	-	-
Титановый сплав BT20	164	88	53
Титановый сплав BT5	650	-	-

Из табл. 2.3 видно, что при резании хрупких материалов типа чугунов составляющие силы резания в 2...3 раза ниже, чем при резании стали, а при резании различных марок титановых сплавов, значительно отличающихся прочностью и пластичностью, коэффициент  $C_{pz}$  изменяется в 4 раза.

Экспериментальные исследования показывают, что в случае несвободного точения резцом без переходного лезвия составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  с увеличением угла  $\varphi$  уменьшаются (рис. 2.2), а составляющая силы резания  $P_x$  увеличивается (рис. 2.3).

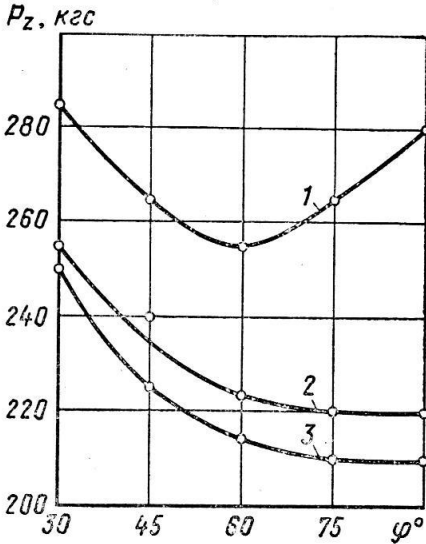


Рис. 2.2. Влияние главного угла в плане на силу при точении (сталь;  $t = 2$  мм;  $s = 0,48$  мм/об):

- 1 – несвободное точение резцом с  $r = 2$  мм при  $v = 40$  м/мин;
- 2 – несвободное точение резцом с  $r = 0$  при  $v = 40$  м/мин;
- 3 – свободное точение при  $v = 44$  м/мин

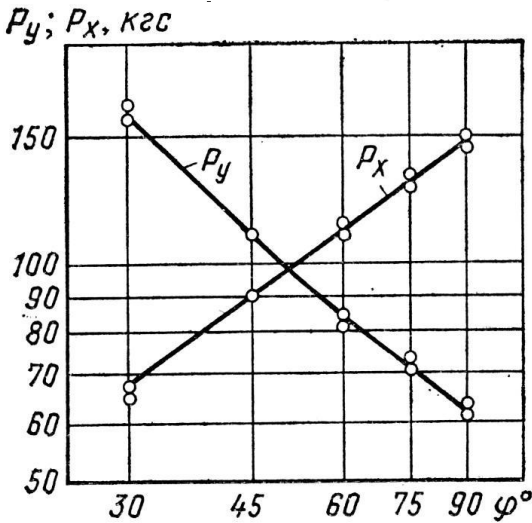


Рис. 2.3. Влияние главного угла в плане на силы  $P_y$  и  $P_x$  при точении (сталь 45;  $t = 3$  мм;  $S = 0,6$  мм/об)

## 2.2 Рекомендации по исследованию влияния геометрии инструмента на силы резания

Величина сил резания при проведении экспериментальных исследований может определяться различными способами: прямым измерением; косвенным определением.

Прямой способ заключается в непосредственном измерении сил с помощью специальных измерительных динамометров, имеющих достаточно сложную конструкцию, но при этом они позволяют получить результат с высокой точностью, требуемой для научных исследований.

Косвенное определение действующих сил резания, например по деформации обрабатываемой детали, даёт повышенную погрешность результатов, но при этом не требуется сложного измерительного оснащения.

Наибольшее влияние на качество детали оказывает деформация изгиба от действия силы  $P_y$  (рис. 2.4). Под действием этого изгиба ось  $x - x'$  изделия занимает положение  $x - x'$  и в этом случае

$$t_{\text{факт}} = t_{\text{ном}} - y. \quad (2.4)$$

Соответственно, диаметр обрабатываемой детали  $d_{\text{факт}}$  получается больше номинального диаметра  $d_{\text{ном}}$  на величину

$$\Delta d = d_{\text{факт}} - d_{\text{ном}} = 2y. \quad (2.5)$$

Прогиб  $y$  определяется формулой

$$y = \frac{P_y l^3}{3EJ}, \quad (2.6)$$

где  $P_y$  – составляющая силы резания согласно формулам (2.3), Н;  $l$  – длина изделия, мм;  $E$  – модуль упругости, МПа ( для стали  $E = 2 \times 10^5 - 2,1 \times 10^5$ );  $J$  – момент инерции поперечного сечения изделия,  $\text{мм}^4$ ,

$$J = \frac{\pi D^4}{64}. \quad (2.7)$$

В результате отжима изделия от резца обработка с назначенной глубиной резания  $t_{\text{ном}}$  осуществляется только у места закрепления детали (рис. 2.4).

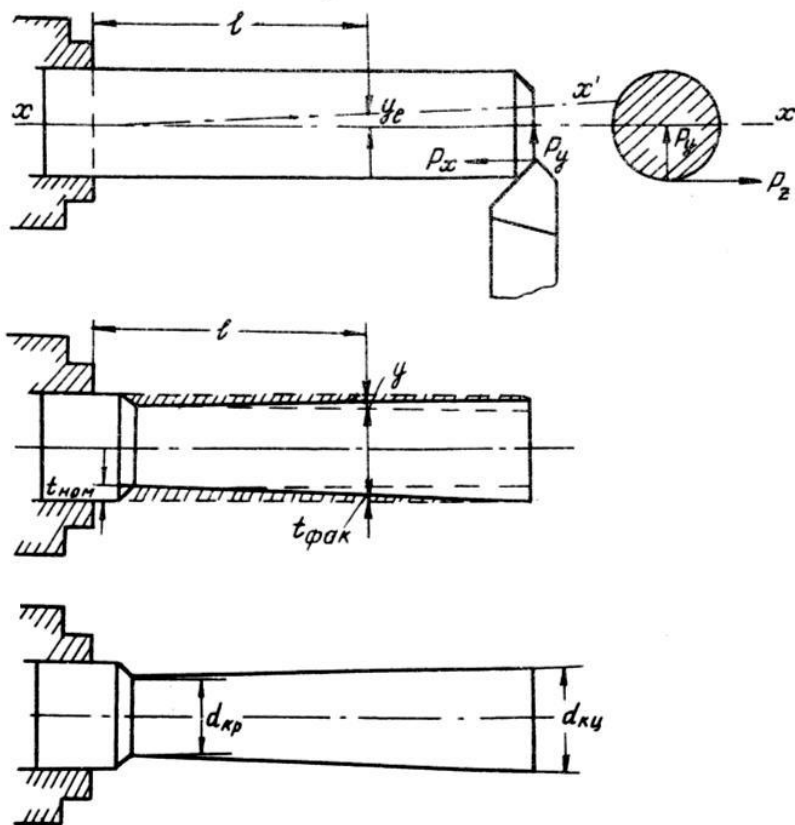


Рис. 2.4 Схема проточки образца, закрепленного консольно в патроне токарного станка

Отклонение  $t_{факт}$  от  $t_{ном}$  в реальных условиях составляет от 0,02мм до 0,1мм при диаметрах порядка 25 мм и глубинах резания около 2 мм. Поэтому относительная погрешность отклонения  $t_{факт}$  от  $t_{ном}$  составит примерно 5%, что вполне допустимо для практических, производственных условий.

Таким образом, замерив на обработанной детали величину  $\Delta d$ , по формуле 2.5 можно определить действующую силу  $P_y$ .

Результаты обработки опытов могут быть оформлены в виде табл. 2.4.

Таблица 2.4. Обработка результатов

№ опыта	$\varphi$ , град	$D_{\text{заг}}$ , мм	$D_{\text{дет}}$ , мм	$\Delta d$ , мм	$y$ , мм	$P_y$ , кН

### Задание

1. Построить экспериментальную кривую  $P_y = f(\varphi)$ .
2. Сравнить экспериментальную кривую с теоретической на рис. 2.3.
3. Оценить соответствие поправочных коэффициентов  $K_\varphi$  из табл. 2.2 с экспериментальными данными.

### Порядок проведения работы

1. Определить требуемые режимы обработки образца  $t$ ,  $s$  и  $v$ , для обеспечения соответствия с данными, представленными на рис. 2.3.
2. Проточить образцы, имеющие равный диаметр, обеспечивая у всех на момент начала обработки одинаковое значение размера  $l$  в диапазоне от 50 до 70 мм. При этом каждый следующий образец протачивать проходным упорным резцом с  $r = 0$ , устанавливая следующие значения угла резца в плане  $\varphi$ : 30°, 45°, 60°, 75°, 90°.
3. Определить на образцах величину  $\Delta d$  посредством замеров и расчётов.
4. Посчитать величину силы  $P_y$  по каждому образцу.
5. Построить экспериментальный график  $P_y = f(\varphi)$ .
6. Выполнить сравнение экспериментального графика с кривой на рис. 2.3.
7. Посчитать экспериментальные значения коэффициентов  $K_\varphi$  и сравнить с теоретическими.
8. Сделать выводы по проведенным исследованиям.

### Содержание отчёта

1. Эскиз настройки станка при обработке образцов.

2. Результаты расчётов технологических параметров.
3. Результаты эксперимента.
4. Экспериментальный график.
5. Результаты сравнения.
6. Выводы по работе

### **Контрольные вопросы**

1. Какие факторы процесса резания влияют на величину силы резания?
2. Каков характер зависимости сил резания от величины угла резца в плане?
3. Как влияют механические характеристики материала на величину силы резания?

## 3 ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗЬБЫ НА ДЕТАЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МЕТЧИКАМИ

### 3.1 Современные метчики

Метчики предназначены для образования резьбы в отверстиях. По принципу работы их подразделяют на режущие (просто метчики), образующие профиль резьбы путем снятия стружки, и деформирующие (бесстружечные), образующие профиль резьбы без снятия стружки, а также метчики с режущими и выглаживающими зубьями, образующие резьбу комбинированным способом (резанием и пластическим деформированием).

Несмотря на многообразие конструкций, метчики имеют общие геометрические параметры и конструктивные элементы: режущие перья ( $n$ ), зубья ( $z$ ), сердцевину ( $c$ ), стружечные канавки ( $k$ ), рабочую часть  $l_p$  и хвостовик  $l_x$  (рис. 3.1). Рабочая часть включает режущую или заборную  $l_l$  и калибрующую  $l_k$ . Режущая часть осуществляет основную работу резания. Калибрующая часть служит для зачистки резьбы и направления метчика в отверстии. Хвостовая часть метчика необходима для закрепления его в патроне или воротке и для передачи крутящего момента вручную или от шпинделя станка посредством квадрата, лысок, шпоночных продольных пазов и т.д.

Форма стружечных канавок играет важную роль в работе метчика. Процесс резания протекает нормально, если стружка свободно размещается в канавках. При нарезании резьбы в сквозных отверстиях, когда стружка отводится в направлении движения метчика, он изготавливается с винтовыми канавками левого направления для правой резьбы (рис. 3.2, а) или с прямыми канавками, но с заточкой зубьев под углом  $X = 7-10^\circ$  на длине, несколько большей заборной части (рис. 3.2, б). При нарезании резьбы в глухих отверстиях для отвода стружки в сторону хвостовика метчики для правой резьбы изготавливаются с винтовыми стружечными канавками правого направления (рис. 3.2, в).



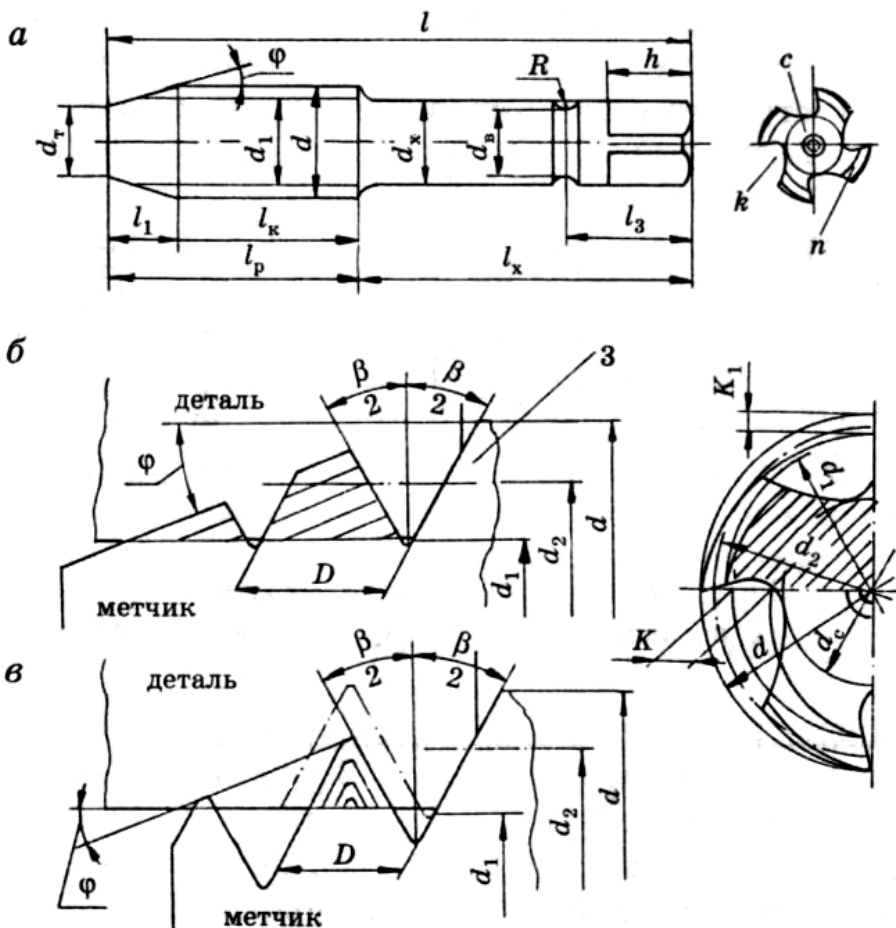


Рис. 3.1. Метчик (а) и схемы резания: генераторная (б); профильная (в)

Переднюю поверхность зубьев режущей и калибрующей частей затачивают под углом  $\gamma$ . Значение  $\gamma$  зависит от вида и твердости обрабатываемого материала. Главные задние поверхности режущей части метчиков затылуют для создания заднего угла  $\alpha$ . Метчики можно изготавливать без затылования по профилю, с затылованием на  $2/3$  ширины пера или с затылованием по всей ширине пера. Первые два метчика обеспечивают более высокую точность нарезаемой резьбы, а последний обладает более высокой стойкостью, так как в результате

такого затылования образуются небольшие, до 10 минут, боковые задние углы у вспомогательных режущих кромок.

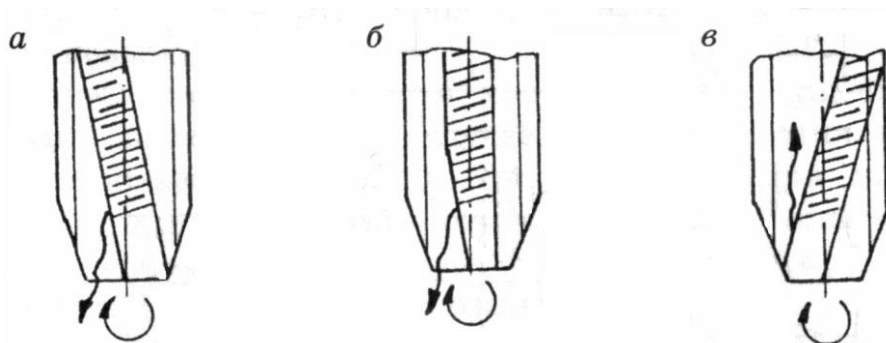


Рис. 3.2. Способы отвода стружки: а, б – по подаче; в – в сторону хвостовика метчика

Режущая часть метчика срезает слои металла по генераторной (рис. 3.1, б) или профильной (рис. 3.1, в) схеме резания. В большинстве случаев применяют генераторную схему (машинные, гаечные и другие метчики). Профильную схему используют для калибрующих и конических метчиков.

В зависимости от назначения и способа применения метчики разделяют на несколько конструктивно-технологических групп: *ручные и машинные, гаечные, конические, бесстружечные и др.* В соответствии с ГОСТ 3266–81 предусмотрено изготовление одинарных и комплектных машинно-ручных метчиков четырех модификаций: *коротких с усиленным хвостовиком, коротких с шейкой и метчиков с проходным хвостовиком.* Во всех трех модификациях метчики могут быть двухкомплектными для двухпроходного нарезания резьбы. Ручные комплектные метчики обычно состоят из трех штук. Их количество зависит от размеров профиля нарезаемой резьбы и свойств материала заготовки. Нагрузку на метчик в комплекте, в зависимости от вырезаемой каждым метчиком площади профиля резьбы, назначают в следующем соотношении: 50% – на первый, 35% – на второй и 15 % – на третий метчик от общей площади профиля. Для различения номера метчика в комплекте на хвостовике возле квадрата наносятся кольцевые риски: одна на первом, две на втором, на третьем риск нет.

Применяются и другие конструкции метчиков, специальные и стандартные:

- \* метчики машинно-ручные с шахматным расположением зубьев, предназначенные для нарезания резьб в заготовках из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, а также из легких сплавов (рис. 3.3, а); происходит меньшее налипание обрабатываемого металла на боковые стороны резьбы метчика;

- \* метчики машинные с винтовыми канавками для нарезания резьбы диаметром 3 - 30 мм в сквозных и глухих отверстиях с прерывистой поверхностью (рис. 3.3, б); отводят стружку в желаемом направлении;

- \* метчики машинно-ручные с укороченными канавками (бесканавочные), предназначенные для нарезания резьб диаметром 1 - 18 мм в сквозных отверстиях (рис. 3.3, в). Данные метчики не затылуют по профилю резьбы, что упрощает технологию их изготовления. Они прочнее обычных;

- \* метчики машинные, оснащенные твердосплавными пластинами (рис. 3.3, г). Предназначены для нарезания трубных цилиндрических резьб диаметром 1/2 - 2 дюйма на заготовках из чугуна твердостью до 300 НВ;

- \* метчики с режуще-выглаживающими зубьями для точных резьб (рис. 3.3, д). Служат для нарезания метрических резьб диаметром 5 - 45 мм и шагом от 0,8 - 3 мм с полями допусков  $2H$ ,  $3H$  и  $4H$ . В зависимости от перепада  $\Delta$  по профилю между средними диаметрами режущих и выглаживающих зубьев метчики могут иметь различные варианты исполнения;

- \* метчики с передней или задней направляющей частью (рис. 3.3, е, ж), применяемые для нарезания резьб соответственно в сквозных и глухих отверстиях; обеспечивают несколько более высокую точность нарезаемой резьбы по сравнению с метчиками без направляющих (направляющие ограничивают радиальное биение метчика). Если сделать заднюю направляющую резьбовой с направлением по приспособлению, то точность нарезаемой резьбы резко повышается, так как обеспечивается закон точного винтового движения метчика;

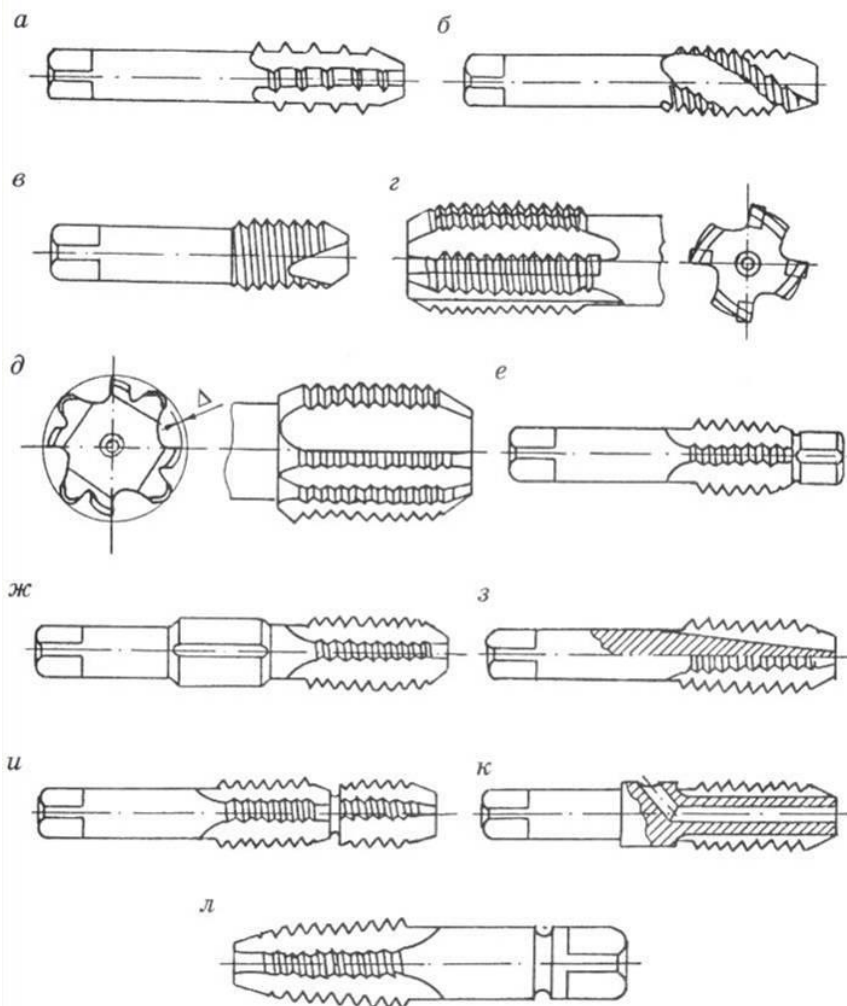


Рис. 3.3. Разновидности машинно-ручных и машинных метчиков

\* метчики с усиленной сердцевиной (рис. 3.3, з), имеющие повышенную прочность;

\* двухступенчатые метчики (рис. 3.3, и), имеющие двойную рабочую часть; могут применяться только для обработки сквозных отверстий и глухих, не имеющих ограничений по сбегу резьбы. Две ступени обеспечивают метчику работу по схеме двухкомплектных метчиков. Похожи на него метчики с передней резьбовой направляющей частью, которая в паре с предварительно прорезанной резьбой образует копирную пару, обеспечивающую точную осевую подачу метчику. Точность нарезаемой ими резьбы значительно выше, чем обычными метчиками;

\* метчики с внутренним подводом СОЖ (рис. 3.3, к), имеющие повышенную стойкость из-за лучших условий смазки, охлаждения, отвода стружки и соответственно уменьшения сил резания;

\* метчики колокольного типа для нарезания ответственных крупных резьб диаметром 50 - 400 мм. Их часто выполняют насадными;

\* метчики для конической резьбы (рис. 3.3, л) должны быть затылованы по наружной поверхности заборного конуса и по профилю на всей длине рабочей части и ширине пера;

\* метчики бесстружечные имеют коническую заборную часть с полной высотой профиля резьбы (рис. 3.4, а). Поперечное сечение тела трех-, четырех- или шестигранное с плавным округлением выступов и затылованием  $K$ , равным 0,1—1,0 мм. Твердосплавные бесстружечные метчики сборной конструкции применяют для обработки резьбы диаметром свыше 30 мм (рис. 3.4, б);

\* гаечные метчики. Отличаются от машинно-ручных удлиненной заборной частью и хвостовиком. На длинный прямой хвостовик (рис. 3.4, в) в процессе работы нанизываются гайки. Затем метчик вынимается из патрона и гайки снимаются с хвостовика. С изогнутого хвостовика гайки сползают непрерывным потоком (рис. 3.4, г) при нарезании резьбы на гайконарезных автоматах. Отсутствие вывертывания метчика после нарезания резьбы увеличивает производительность, а удлиненная заборная часть повышает стойкость метчика и точность резьбообработки с одновременным уменьшением крутящего момента.

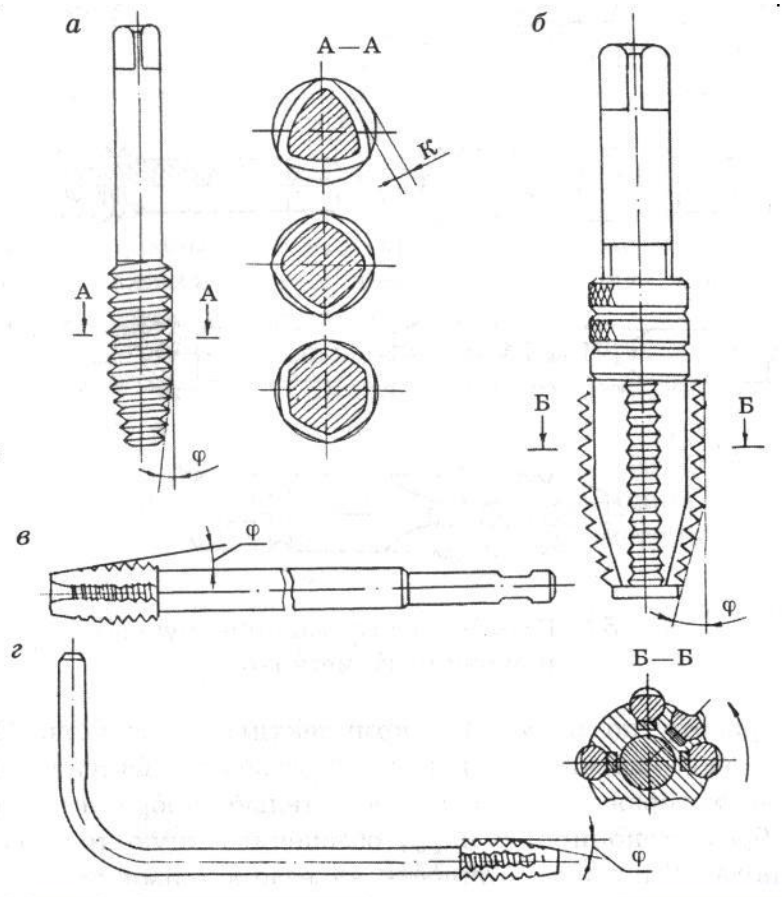


Рис. 3.4. Бесстружечные (а, б) и гаечные (в, г) метчики

### 3.2 Рекомендации по исследованию работоспособности метчиков

1. Для измерения наружного, внутреннего и среднего диаметров резьбы метчика на инструментальном микроскопе метчик устанавливают на накладном столике микроскопа. Измерения выполняют в соответствии с инструкцией к прибору. Величины наружного  $d$ , внутреннего  $d_1$  и среднего  $d_2$  диаметров определяют по разнице показаний лимба микрометрического винта микроскопа для двух положений I и II окулярной сетки (рис. 3.5).

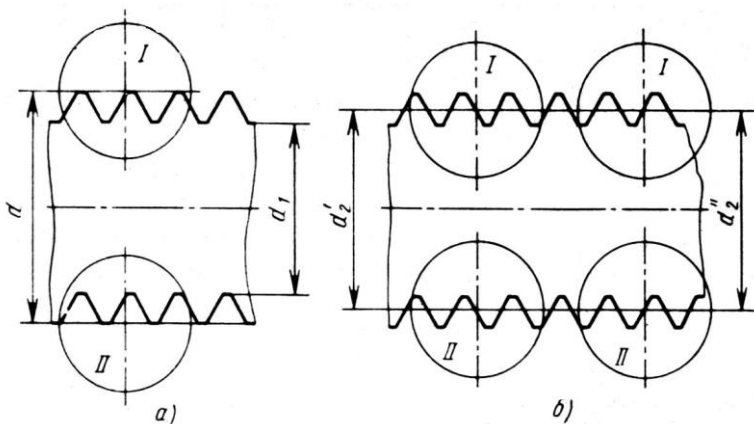


Рис. 3.5 Схема измерения диаметров резьбы метчика:  
 а – наружного и внутреннего; б – среднего

2. При измерении шага резьбы  $P$  окулярную сетку располагают относительно профиля резьбы так, как показано на рис. 3.6. Разница отсчетов для положений I и II сетки даст величину шага. Измерения проводят для двух сторон профиля и принимают среднее значение.

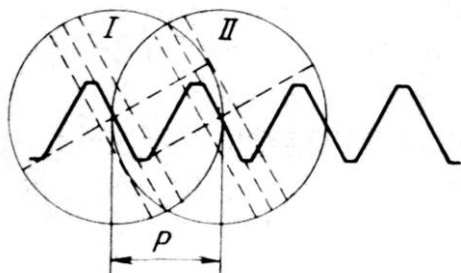


Рис. 3.6. Схема измерения шага резьбы

3. Измерение угла профиля резьбы метчика производят отдельно по двум его половинам для того, чтобы проверить не только правильность самого угла, но и перпендикулярность биссектрисы угла к оси резьбы. Отсчеты проводят с помощью окуляра угловой окулярной головки (рис. 3.7). Угол профиля проверяют в начале и конце калибрующей части.

Все измерения проводят 2 – 3 раза, за истинное значение принимают среднее арифметическое из полученных значений.

Сравнивают полученные значения измеренных элементов резьбы для чистового метчика с данными ГОСТ 16925–71 на допуски резьбы метчиков. Определяют степень точности данного комплекта метчиков.

4. Диаметр режущей части на торце  $d_T$ , ее длина  $l_p$  и угол конуса  $\varphi$  определяют измерением на инструментальном микроскопе координат двух точек, в начале и конце режущей части (рис. 3.8) и последующим расчетом необходимых значений:

$$d_T = d - 2l_p \operatorname{tg} \varphi = d - 2(x_2 - x_1) \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1), \quad (3.2)$$

откуда

$$\varphi = \operatorname{arctg}[(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)]. \quad (3.3)$$

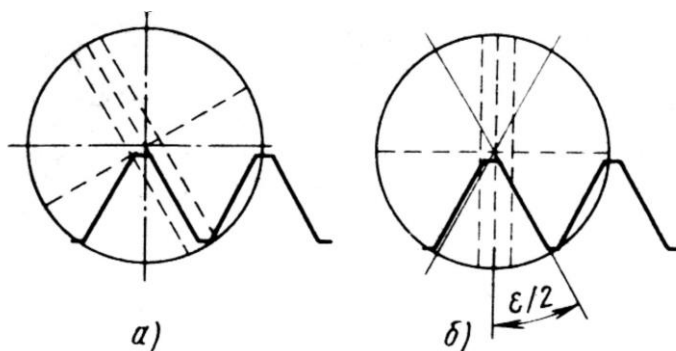


Рис. 3.7. Схема измерения угла профиля резьбы:  
а – начальное положение шкалы окулярной головки;  
б – конечное положение шкалы

Угол конуса режущей части можно также измерить непосредственно с помощью окулярной головки микроскопа.

Обратную конусность у метчиков по наружному, среднему и внутреннему диаметрам определяют соответственно как разность значений наружных, средних и внутренних диаметров в начале и конце калибрующей части. Она должна быть в пределах 0,05 – 0,10 мм на 100 мм длины.



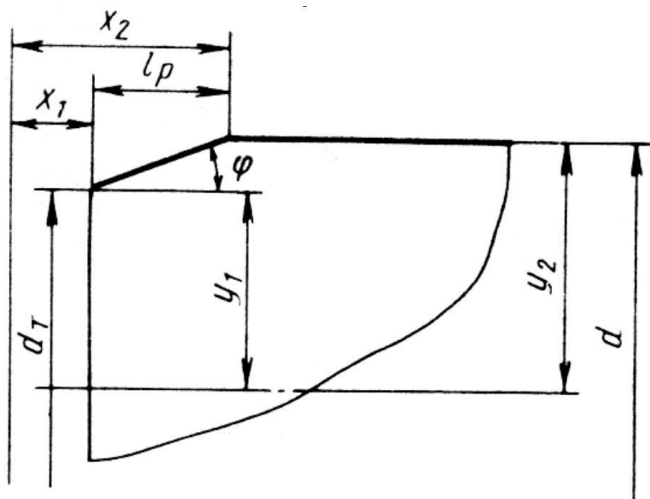


Рис. 3.8. Схема измерения режущей части метчика

Величину затылования резьбы на калибрующей части по наружному и среднему диаметрам измеряют на ширине пера метчика. Измерение проводят на двух-трех витках по длине метчика. За истинный размер берут среднее арифметическое из полученных значений.

5. На основании выполненных измерений делают расчет распределения нагрузки между метчиками в комплекте.

Нагрузка на каждый метчик в комплекте определяется вырезаемой им частью площади обрабатываемого профиля резьбы, считая от диаметра отверстия  $d_c$ , просверленного под резьбу (рис. 3.9, а).

Площадь рабочего профиля резьбы каждого метчика комплекта

$$S = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot \frac{d + d_c}{2}, \quad (3.4)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – ширина профиля резьбы метчика соответственно на диаметрах  $d$  и  $d_c$ ;  $d_c$  – диаметр отверстия под нарезание резьбы.

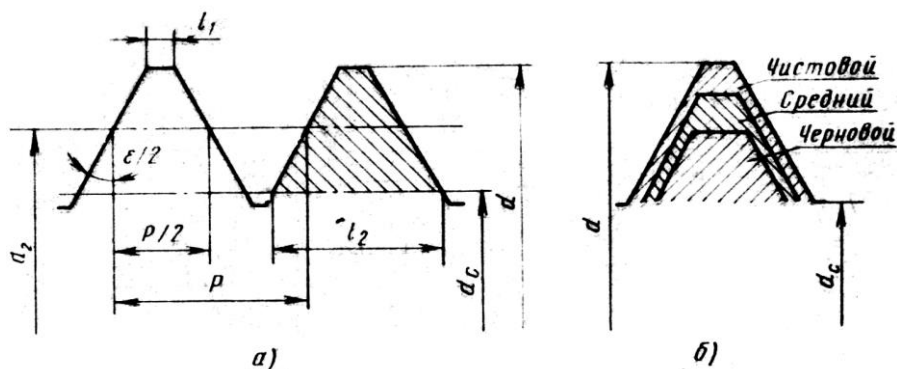


Рис. 3.9. Схема определения нагрузки метчиков:  
 а – расчетные размеры профиля; б – распределение нагрузки

Диаметр отверстия под резьбу  $d_c$  выбирают по табл. 3.1.

Таблица 3.1 Диаметры отверстий под резьбу

$d$ , мм	Шаг резьбы $P$ , мм	Диаметр отверстия под резьбу $d_c$ , мм, со степенью точности		Диаметр сверла $d_{св}$ , мм
		4H5H; 5H;6H; 5H6H; 7H	6G; 7C	
8	1,25	6,70	6,75	6,80
9		7,70	7,75	7,80
10	1,5	8,43	8,50	8,50
11		9,43	9,50	9,50
12	1,75	10,20	10,25	10,20
14	2	11,90	11,95	12,00
16		13,90	13,95	14,00
18	2,5	15,35	15,40	15,50
20		17,35	17,40	17,50
22		19,35	19,40	19,50
24		20,85	20,90	21,00

Ширина вершины профиля резьбы

$$l_1 = P/2 - (d - d_2) \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon/2). \quad (3.5)$$

Ширина основания профиля резьбы

$$l_2 = P/2 + (d_2 - d_c) \operatorname{tg}(\epsilon/2). \quad (3.6)$$

Распределение нагрузки между метчиками комплекта определяют следующим образом (рис. 3.9, б): для черногового метчика

$$(S_{\text{черн}} / S_{\text{чист}}) 100\%, \quad (3.7)$$

для среднего метчика

$$(S_{\text{сред}} - S_{\text{черн}} / S_{\text{чист}}) 100\%, \quad (3.8)$$

для чистового метчика

$$(S_{\text{чист}} - S_{\text{сред}} / S_{\text{чист}}) 100\%, \quad (3.9)$$

где  $S_{\text{черн}}$ ,  $S_{\text{сред}}$ ,  $S_{\text{чист}}$  – площади рабочего профиля резьбы черногового, среднего и чистового метчиков.

Полученные значения нагрузок сравнивают с их рекомендуемым распределением, приведенным в табл. 3.2.

Таблица 3.2 Нагрузка метчиков

Метчик в комплекте	Распределение нагрузки, %, в комплектах из метчиков	
	из трех	из двух
Черновой	56 — 60	75
Средний	28 — 30	
Чистовой	16 — 10	25

6. Рассчитывают толщину среза, снимаемого одной режущей кромкой метчика (рис. 3.10). Толщину среза  $a_z$  измеряют в направлении перпендикулярном к оси метчика.

Толщина снимаемой стружки на всей длине режущей части метчика одинакова:

$$a_z = (P/z) \operatorname{tg} \phi. \quad (3.10)$$

Пользуясь этой формулой, определяют для всех метчиков комплекта толщину снимаемого слоя каждым зубом и делают заключение о том, могут ли исследуемые метчики обеспечить нарезание резьбы с требуемым параметром шероховатости поверхности ( $R_z = 20$  мкм,  $R_a = 2,5$  мкм). Такие параметры шероховатости обеспечиваются при толщине среза  $a_z = 0,02-0,12$  мм.

7. Результаты измерений и расчетов заносят в протокол согласно табл. 3.3 и оформляют чертеж метчика (рис. 3.11).

Полученные данные анализируют и определяют соответствие исследованных метчиков предъявляемым к ним техническим требованиям по рассмотренным параметрам.

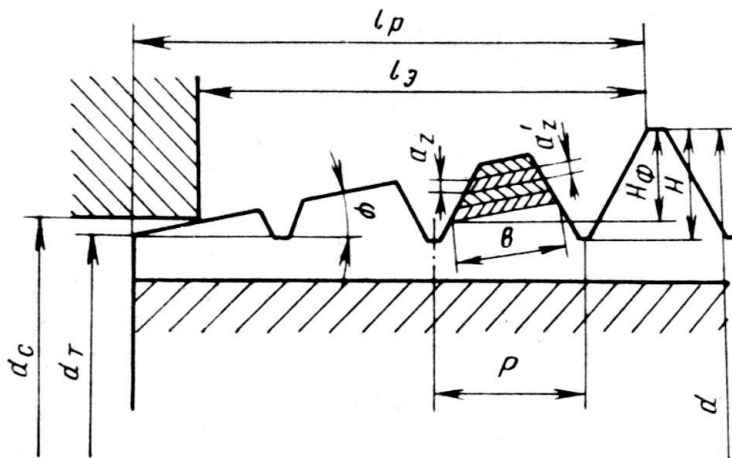


Рис. 3.10. Схема расчета толщины среза при работе метчика

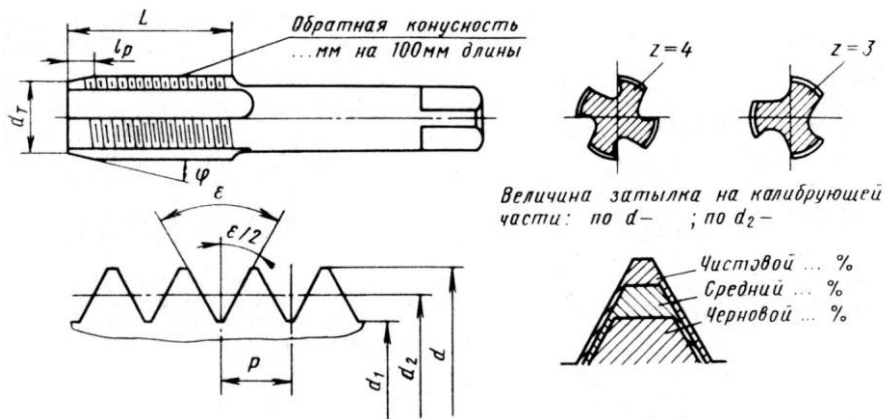


Рис. 3.11. Пример оформления эскиза метчика к отчету по лабораторной работе

## Содержание отчета

В отчете приводят следующие данные:

1. Формулировку задания и характеристику комплекта метчиков, подлежащих измерению (тип, диаметр и шаг резьбы, число метчиков в комплекте).

2. Краткую характеристику оборудования, используемого для измерений.

3. Результаты каждого измерения контролируемых элементов резьбы, расчет среднего значения из полученных результатов, сравнение с допусками, предусмотренными ГОСТами, определение класса точности метчика.

4. Расчет площади профиля резьбы, снимаемой каждым метчиком комплекта, определение площади, снимаемой каждым метчиком в процентах (нагрузки).

5. Протокол результатов исследования (табл. 3.3) и чертеж метчика (рис. 3.11).

6. Заключение о точности и работоспособности метчика.

Таблица 3.3 Результаты исследований метчика

Измеряемый или рассчитываемый параметр метчика	Результаты измерений и расчетов для метчиков			Приме- чание
	первого	второго	третьего	
Диаметр наружный $d$ средний $d_2$ внутренний $d_1$				
Половина угла профиля: правая левая				
Угол профиля резьбы				
Шаг резьбы				
Распределение нагрузки между метчиками комплекта, %				

Окончание табл. 3.3

Величина затылования: на калибрующей части по наружному диаметру				
Угол конуса режущей части				
Длина режущей части				
Толщина стружки, снимаемая каждым резцом				
Степень точности метчика				

## 4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВЫРУБКой-ПРОБИВКОЙ ЭЛАСТОМЕРАМИ

Процессы пробивки отверстий эластичной средой нашли широкое применение в производстве летательных аппаратов. Они используются для получения различных по форме и размерам отверстий как в плоских деталях и заготовках, так и в полых деталях после гибки, рельефной штамповки и вытяжки.

Номенклатура деталей, отверстия в которых могут быть получены с использованием этих процессов, – большая; сюда относятся различные косынки, наладки, перегородки, стенки нервюр и др. детали из сплавов алюминия, магния, титана, из нержавеющей стали и других металлов и сплавов. Отверстия в этих деталях могут быть самой разнообразной конфигурации — круглой, квадратной, прямоугольной, треугольной, а также произвольной формы с образованием контура различным сочетанием кривых и прямых линий,

Пробивка отверстий эластичной средой легко выполняется одновременно с другими операциями, такими как вырубка по контуру, гибка, отбортовка, а также при штамповке элементов жесткости в виде рифтов и глухих рельефных углублений в стенках деталей.

Эластичная среда при выполнении разделительных операций применяется для передачи усилия на заготовку детали в зону режущих кромок жесткого штампуемого инструмента. Для этой цели могут быть использованы различные высокоэластичные материалы, такие как резина, полиуретан и другие аналогичные полимеры. В качестве силового оборудования применяют гидравлические, кривошипные и эксцентриковые прессы различной мощности.

Пробивка отверстий эластичными средами может выполняться с применением как простейшей технологической оснастки, состоящей из элементарной жесткой матрицы и универсального эластичного пуансона, так и оснастки более сложной конструкции с дополнительными вспомогательными устройствами, механизующими и автоматизирующими процесс штамповки. В первом случае оснастка имеет малую трудоемкость изготовления и быстро окупается. Однако сам процесс штамповки имеет значительно большую

трудоемкость, чем штамповка обычными цельнометаллическими инструментальными штампами. При такой оснастке штамповка эластичными средами наиболее эффективна в мелкосерийном и единичном производстве, особенно при частых изменениях конструкции деталей.

Во втором случае характерна более высокая трудоемкость изготовления оснастки, но сам процесс штамповки имеет малую трудоемкость, примерно такую же, как и при штамповке цельнометаллическими штампами. Процессы штамповки эластичными средами при этом могут с успехом применяться в крупносерийном и даже массовом производстве.

#### **4.1 Технология вырубки-пробивки эластомерами**

При пробивке отверстий эластичная среда выполняет роль пуансона. В качестве матрицы применяется жесткий штампуемый инструмент с острозаточенными режущими кромками, профиль которого имеет форму и размеры пробиваемого отверстия.

Одна из наиболее простых и удобных для практического осуществления схем пробивки отверстия в плоской заготовке, на базе которой выполняется настоящая лабораторная работа, показана на рис. 4.1. Эластичная подушка 1 заключена в жесткий контейнер 2, который крепится к ползуну или к неподвижной траверсе прессы 6. Жесткий штампуемый инструмент 3 устанавливается на подштамповую плиту 4. Штампуемый материал в виде заготовки 5 располагается сверху жесткого инструмента 3. Для фиксации контура детали в заданном положении относительно пробиваемого отверстия в жесткий инструмент 3 запрессованы два фиксирующих штифта 7, а в заготовке детали просверлены два ответных отверстия, расположение которых строго увязано с контурами детали и отверстия и с расположением фиксирующих штифтов в жесткой матрице. Для несимметричных деталей и заготовок может быть применен один фиксирующий штифт, установленный по их оси.



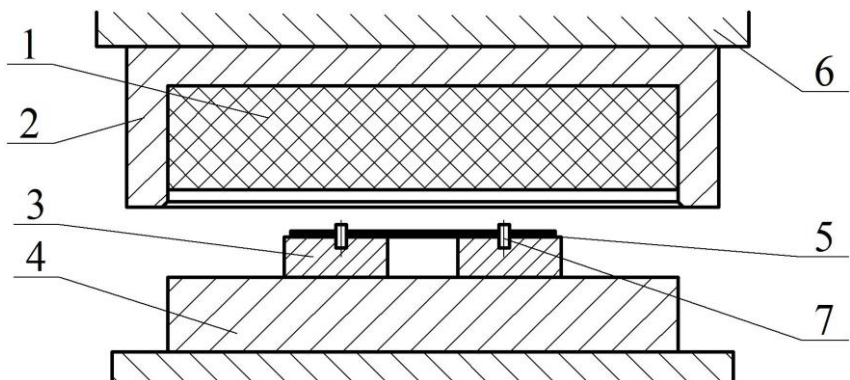


Рис. 4.1. Схема установки для пробивки отверстия эластичной средой:  
 1 – эластичная подушка; 2 – контейнер; 3 – матрица; 4 – подштамповая плита;  
 5 – заготовка; 6 – траверса прессы; 7 – штифт

Процесс пробивки отверстия эластичной средой условно можно разделить на три стадии (рис. 4.2). На первой из них (рис. 4.2, а) эластичная среда после соприкосновения со штампуемым материалом оказывает на него небольшое по величине начальное давление, под действием которого часть заготовки, расположенная над проёмом матрицы, испытывает упругий круговой изгиб. Напряжения и деформации в этой части материала на первой стадии не превышают предела упругости.

На второй стадии, которая возникает при дальнейшем увеличении давления со стороны эластичной среды, материал заготовки над проёмом матрицы переходит в упругопластическое состояние и претерпевает упругопластический пространственный изгиб. В зоне режущей кромки матрицы возникает весьма сложное силовое поле, а у ее вершины — резкая концентрация напряжений и деформаций. В конце второй стадии наиболее напряженные волокна этой зоны разрушаются с образованием вначале микро-, а затем макротрещин, а вся свободная часть заготовки (будущий отход) за счет дальнейшей упругопластической деформации и возникновения по контуру резки дополнительных деформаций сдвига смещается дальше в проём матрицы (рис. 4.2, б).

На третьей стадии происходит развитие возникших скалывающих трещин; направление их роста при этом совпадает с линиями

наибольших деформаций сдвига. Трещины распространяются на внутренние слои материала, проходят через всю его толщину и вызывают полное отделение отхода от детали (рис. 4.2, в).

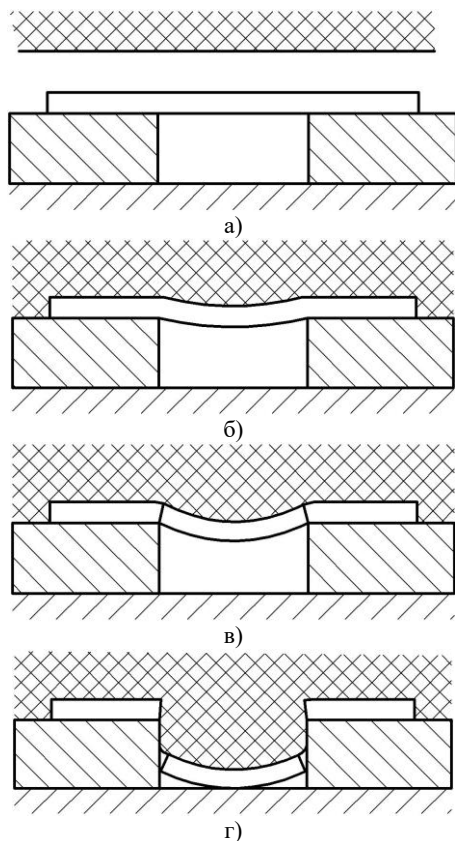


Рис. 4.2. Стадии пробивки отверстия эластичной среды: а – исходное положение; б – первая стадия; в – вторая стадия; г – третья стадия

В связи с некоторой неравномерностью распределения давления со стороны эластичной среды по поверхности матрицы, неравномерностью механических свойств штампуемого материала и неодинаковой остротой режущей кромки по периметру отверстия, пробивка последнего иногда происходит не по всему контуру одновременно, а только по его части. В результате возникает четвертая

стадия, на которой при дальнейшем повышении давления осуществляется окончательное отделение смещенного в сторону отхода (рис. 4.3).

Значительное влияние на процесс пробивки отверстий эластичной средой и его силовые параметры оказывают физико-механические свойства штампуемого материала и его толщина, геометрия пробиваемого отверстия, степень остроты режущих кромок, физико-механические свойства эластичной среды. С увеличением прочности штампуемого материала и его толщины, твердости эластичной среды, а также с уменьшением размеров отверстия и притуплением режущих кромок жесткого инструмента давление, необходимое для пробивки, растет.

При разработке технологических процессов пробивки отверстий эластичной средой выполняют следующие расчеты: а) определяют давление, необходимое для пробивки со стороны эластичной среды, и усилие прессы при заданных геометрических параметрах контейнера с эластичной средой; б) находят минимально допустимый диаметр отверстия, которое можно пробить на данном прессе; в) определяют степень использования усилия прессы по сравнению со штамповкой инструментальными штампами.

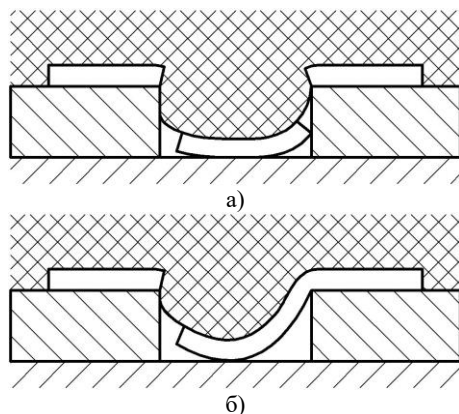


Рис. 4.3. Возникновение четвертой стадии пробивки отверстия при одновременном разрушении материала по контуру отверстия:  
а – третья стадия; б – четвертая стадия

## 4.2 Рекомендации по исследованию процесса вырубki-пробивки эластомерами

1. Рассчитать силовые параметры процесса пробивки круглых отверстий в плоской детали, показанной на рис. 4.4.

Исходные данные взять из табл. 4.1 в соответствии с вариантом задания, выданным преподавателем. При выполнении расчетной части лабораторной работы необходимо:

а) начертить эскиз детали с отверстиями согласно полученному заданию с указанием их размеров;

б) начертить принятую для технологических расчетов схему пробивки отверстий эластичной средой (см. рис. 4.1);

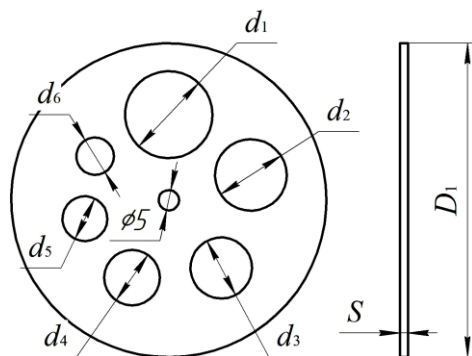


Рис. 4.4. Эскиз детали

в) рассчитать давление со стороны эластичной среды, необходимое для пробивки каждого отверстия в заданной детали и для пробивки всех отверстий за один рабочий ход пресса;

г) рассчитать величину усилия со стороны ползуна пресса, необходимого для пробивки каждого отверстия в заданной детали и для пробивки всех отверстий за один рабочий ход пресса;

д) рассчитать минимально допустимый диаметр отверстия, которое можно пробить эластичной средой в материале заданной детали на лабораторном прессе с установленным на нем экспериментальным контейнером, сопоставить полученный минимально допустимый

размер с размерами отверстий в заданной детали и дать заключение о возможности их пробивки на имеющемся прессе;

е) определить коэффициенты использования усилия прессы при пробивке в заданной детали каждого отверстия в отдельности и всех отверстий за один рабочий ход прессы, для расчета принять только те отверстия, которые возможно пробить на лабораторном прессе с установленным на нем контейнером;

ж) построить теоретический (расчетный) график  $q = f(d)$ , провести на графике линию, соответствующую минимально допустимому размеру отверстия, которое можно пробить на лабораторном прессе, и выделить на графике зону отверстий, пробивка которых возможна и невозможна в материале заданной детали. Из анализа графика сделать выводы о характере влияния различных параметров на величину давления  $q$ , необходимого для пробивки отверстий;

з) построить теоретические (расчетные) графики  $P = f(d)$  и  $\mu = f(d)$ . Из анализа графиков сделать выводы о характере влияния различных параметров на величину усилия прессы  $P$  и коэффициент его использования  $\mu$ ;

и) из анализа расчетной формулы для определения минимально допустимого диаметра пробиваемого отверстия сделать выводы о характере влияния на  $d_{\min}$  параметров, входящих в эту формулу.

2. Провести экспериментальное исследование силовых параметров процесса пробивки отверстий в заданной детали, для чего необходимо:

а) ознакомиться с устройством лабораторного прессы, конструкцией экспериментального контейнера и жесткого штампуемого инструмента для пробивки отверстий в заданной детали (рис. 4.5 и 4.6);

б) ознакомиться с правилами техники безопасности при работе на гидропрессах;

в) произвести замер фактической толщины заготовки заданной детали;

г) выполнить предусмотренные программой работ экспериментальные исследования с регистрацией силовых параметров пробивки отверстий в заданной детали;

д) произвести математическую обработку экспериментальных данных с расчетом фактических давлений  $q$  и усилий  $P$ ;

е) построить на теоретических (расчетных) графиках  $q = f(d)$  и  $p = f(d)$  экспериментальные кривые;

ж) по экспериментальным данным для отверстий всех размеров штампуемой заготовки фактической толщины найти действительное значение условного сопротивления материала срезу  $\sigma_{ср}$  и сравнить его с сопротивлением, принятым для технологических расчетов из табл. 4.1. Определить величину отклонения принятого  $\sigma_{ср}$  от действительного (в %);

з) пересчитать с учетом действительных значений условного сопротивления материала срезу ( $\sigma_{ср}$ ) и толщины штампуемой заготовки  $S$  давление  $q$  и усилие прессы  $P$ , которые необходимы для пробивки отверстий в заданной детали;

Таблица 4.1. Задания

N варианта	Заготовка				Диаметры отверстий					
	Марка материала	$S$ , мм	$\sigma_{ср}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$D_3$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$d_6$ , мм
1	Д16АМ	0,5	12	140	50	33	22	15	10	5
2	Д16АМ	0,8	12	142	50	35	25	18	13	7
3	Д16АМ	1,0	12	150	50	40	30	23	18	10
4	Д16АМ	1,2	12	150	50	40	30	23	18	10
5	Д16АМ	1,5	12	174	60	50	40	32	26	14
6	АМцАМ	0,5	7	110	33	22	15	10	7	3
7	АМцАМ	0,8	7	110	33	22	15	10	7	3
8	АМцАМ	1,0	7	140	50	33	22	15	10	5
9	АМцАМ	1,2	7	140	50	33	22	15	10	5
10	АМцАМ	1,5	7	142	50	35	25	18	13	7
11	АМцАМ	2,0	7	150	50	40	30	23	18	10
12	Ст20	0,3	36	142	50	35	25	18	13	7
13	Ст20	0,5	36	192	60	50	40	32	26	14
14	Ст20	0,8	36	192	65	54	45	38	32	20
15	Ст20	1,0	36	192	65	54	45	38	32	20
16	30ХГСА	0,5	45	192	60	50	40	32	26	14
17	30ХГСА	0,8	45	192	65	54	45	38	32	20
18	30ХГСА	1,0	45	192	65	54	45	38	32	20
19	Л62	0,5	26	140	50	33	22	15	10	5
20	Л62	0,8	26	142	50	35	25	18	13	7
21	Л62	1,0	26	150	50	40	30	23	18	10

и) построить на графиках  $q = f(d)$  и  $P = f(d)$  вторые расчетные (теоретические) кривые с учетом действительных значений  $\sigma_{\text{ср}}$  и  $S$ ;

к) сделать соответствующие выводы о степени совпадения экспериментальных и расчетных данных. Если будут обнаружены несовпадения, объяснить их причину.

В случае, если материал заданной детали отличается от материала, принятого в эксперименте, то задания, предусмотренные пунктами з), и), не выполняются. В этом случае экспериментальные значения  $\sigma_{\text{ср}}$  только сравниваются с данными табл. 4.1 для соответствующей марки материала.

3. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы и отчитаться перед преподавателем по результатам выполненной лабораторной работы.

### **Последовательность выполнения, технологических расчетов силовых параметров пробивки отверстий**

- Определение давления со стороны эластичной среды, необходимого для пробивки отверстий

Расчетные зависимости для определения силовых параметров разделительной штамповки эластичной средой выводятся из условия равенства внешних и внутренних сил, действующих в зоне резки.

В соответствии с рис. 4.1 внешнее усилие, которое действует в зоне режущей кромки 1 жесткого штампующего инструмента 3 и вызывает ориентированное разрушение материала 5 по контуру отверстия при условии равномерного распределения давления по поверхности жесткого инструмента и подштамповой плиты, определяется по формуле

$$P_H = \frac{\pi d^2}{4} q, \quad (4.1)$$

где  $P_H$  – равнодействующая внешних сил, равномерно распределенных по периметру резки;  $d$  – диаметр пробиваемого отверстия;  $q$  – давление со стороны эластичной среды на поверхность заготовки.

Штампуемый материал к моменту начала разрушения по контуру резки будет сопротивляться внешней нагрузке с усилием

$$P_{BH} = \pi d S \sigma_{cp}, \quad (4.2)$$

где  $P_{BH}$  – суммарное сопротивление материала разрушению по периметру резки;  $S$  – толщина штампуемого материала;  $\sigma_{cp}$  – условное сопротивление материала резанию.

Чтобы разрушение произошло, должно быть соблюдено равенство  $P_H = P_{BH}$ .

Приравняв правые части выражений (4.1) и (4.2) и решив полученное уравнение относительно давления  $q$ , находим

$$q = \frac{4S\sigma_{cp}}{d}, \quad (4.3)$$

Зависимость (4.3) не учитывает затраты энергии на деформирование эластичной подушки и влияние на давление возможного притупления режущей кромки жесткого дыропробивного инструмента. Поэтому для получения расчетной формулы в зависимость (4.3) вводится поправочный безразмерный коэффициент, равный 1,2, который предусматривает некоторое увеличение расчетного давления:

$$q = \frac{4,8S\sigma_{cp}}{d}. \quad (4.4)$$

Подставив в формулу (4.4) исходные данные из табл. 4.1, определяют давление эластичной среды, необходимое для пробивки в заданной детали каждого отверстия в отдельности и одновременно всех имеющихся в ней отверстий.

По результатам расчета в прямоугольной системе координат строится график  $q = f(d)$ . По горизонтальной оси откладываются значения диаметров отверстий для заданной детали, на вертикальной оси – соответствующие им давления эластичной среды, рассчитанные по формуле (4.4). Полученные точки соединяют плавной кривой.

- Расчет усилия, необходимого для пробивки отверстий

Усилие, необходимое для пробивки отверстий, определяют в целях подбора прессового оборудования по мощности. При условии равномерного распределения давления по поверхности жесткого штампуемого инструмента и подштамповой плиты усилие прессы находим по формуле



$$P_{np} = F_k q, \quad (4.5)$$

где  $P_{np}$  – усилие со стороны ползуна прессы;

$F_k$  – площадь рабочей поверхности эластичной подушки, запрессованной в контейнер, либо равная ей площадь рабочей поверхности подштамповой плиты.

Подставив в (4.5) значение  $q$  из (4.4) и учитывая, что при круглом контейнере площадь подштамповой плиты  $F_k = \frac{\pi d_k^2}{4}$  ( $d_k$  – диаметр подштамповой плиты или эластичной подушки), получим

$$P_{np} = \frac{1,2\pi d_k^2 S_0 \sigma_{cp}}{d}. \quad (4.6)$$

Подставив в формулу (4.6) исходные данные из табл. 4.1, определяют усилие со стороны ползуна прессы, необходимое для пробивки в заданной детали каждого отверстия в отдельности и одновременно всех отверстий (рассчитывается по отверстию минимального диаметра).

Результаты расчетов вносятся в отчет по лабораторной работе. Далее по ним в прямоугольной системе координат строится график зависимости  $P_{np} = f(d)$ .

- Расчет минимально допустимого диаметра пробиваемого отверстия

Минимально допустимый диаметр пробиваемого отверстия рассчитывается для материала заданной детали и имеющегося лабораторного прессы. Заменив в формуле (4.6)  $P_{np}$  его максимальным значением  $P_{макс}$  для данного прессы и решив уравнение относительно  $d$ , получим расчетную формулу для определения  $d_{мин}$ :

$$d_{мин} = \frac{1,2\pi d_k^2 S \sigma_{cp}}{P_{макс}}. \quad (4.7)$$

Подставив в формулу (4.7) исходные данные из табл. 4.1,  $d_k$  и  $P_{макс}$  из паспорта лабораторного гидравлического прессы (рис. 4.5), определяют значение  $d_{мин}$  для заданных конкретных условий штамповки.

Полученное значение  $d_{мин}$  сопоставляют с диаметрами отверстий,

которые имеются в заданной детали, и дают заключение о возможности их пробивки на лабораторном прессе. Если  $d_{\text{мин}}$  будет меньше наименьшего диаметра отверстия в заданной детали, то все ее отверстия могут быть получены на лабораторном прессе. В противном случае те отверстия, которые будут меньше  $d_{\text{мин}}$ , на лабораторном прессе пробить будет невозможно.

На графике  $f = f(d)$  проводят вертикальную линию, соответствующую  $d_{\text{мин}}$ , которая разделит поле графика на две части.

Правую часть будет составлять зона отверстий, пробивку которых можно осуществить на лабораторном прессе и на материале заданной детали, левую часть составит зона отверстий, которые пробить нельзя. Правую часть надо заштриховать.

- Определение коэффициента использования усилия прессы

При разделительной штамповке эластичной средой только часть усилия прессы используется для непосредственного выполнения разделительной операции, другая его часть идет на сжатие эластичной среды, расположенной за пределами деформируемой зоны штампуемой заготовки, и расходуется, по существу, бесполезно.

Отношение той части усилия, которое используется непосредственно для разрушения штампуемого материала по контуру резки (т.е.  $P_{\text{вн}}$ ), к полному усилию, которое прикладывается к контейнеру со стороны ползуна прессы (т.е.  $P_{\text{пр}}$ ), называют коэффициентом использования усилия прессы и обозначают его  $\mu$ . Таким образом,

$$\mu = \frac{P_{\text{вн}}}{P_{\text{пр}}}. \quad (4.8)$$

Сопоставив зависимости (4.8), (4.2) и (4.6), получим

$$\mu = \frac{d^2}{1,2d_{\text{к}}^2}. \quad (4.9)$$

Таким образом, коэффициент использования усилия прессы зависит только от соотношения диаметров пробиваемого отверстия и контейнера (эластичной подушки) и не зависит от физико-механических свойств и толщины штампуемого материала.

По формуле (4.9) рассчитывают коэффициент усилия прессы при пробивке в заданной детали каждого отдельно взятого отверстия. Причем расчет ведут только для тех отверстий, которые могут быть пробиты на данном прессе.

Для определения коэффициента использования усилия прессы при пробивке всех имеющихся в детали отверстий одновременно надо взять отношение суммарного усилия, необходимого для непосредственной пробивки тех отверстий, которые могут быть получены на лабораторном прессе исходя из его мощности, к полному усилию прессы, которое прикладывается к контейнеру при пробивке отверстия наименьшего диаметра. Расчетная формула при этом будет иметь вид

$$\mu = \frac{(d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1} + d_n)d_n}{1.2d_k^2}, \quad (4.10)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – диаметры отверстий (от наибольшего  $d_1$  до минимального  $d_n$ ), имеющихся в заданной детали.

Данные расчетов, выполненных по формуле (4.9), вносятся в соответствующие графы отчетного бланка. В дальнейшем по ним строится график  $\mu = f(d)$ .

- Анализ расчетных зависимостей и построенных расчетных графиков

В конце расчетной части лабораторной работы проводится анализ использованных для расчетов зависимостей и построенных по ним графиков.

На основе анализа формулы (4.3) и построенного по ней графика  $q = f(d)$  выясняется характер влияния параметров  $d, S$  и  $\sigma_{ср}$  на величину давления  $q$ , которое необходимо для пробивки отверстий.

На основе анализа формулы (4.6) и построенного по ней графика  $P_{пр} = f(d)$  определяется характер влияния на величину усилия  $P_{пр}$  параметров  $d, d_k, S$  и  $\sigma_{ср}$ .

На основе анализа формулы (4.7) устанавливается характер влияния на размер минимального допустимого диаметра  $d_{мин}$  отверстия параметров  $d_k, S, \sigma_{ср}$  и  $P_{макс}$ .

На основе анализа формул (4.9) и (4.10) выясняется характер влияния на коэффициент использования усилия пресса диаметров пробиваемых отверстий и диаметра контейнера.

Краткое изложение результатов проведенных анализов записывается в ответе по лабораторной работе.

## Оборудование

### Лабораторный гидравлический пресс

Экспериментальная часть лабораторной работы выполняется на лабораторном гидравлическом прессе БКК-200 М1, схема которого показана на рис. 4.5. На неподвижной траверсе пресса 12 смонтирован контейнер 1 с эластичной подушкой 13. На столе 3 пресса, смонтированном на открытой части поршня 4 гидравлического цилиндра 16, установлена подштамповая плита 2, на которой располагаются жесткая дыропробивная матрица 15 и уложенная на нее заготовка детали 14.

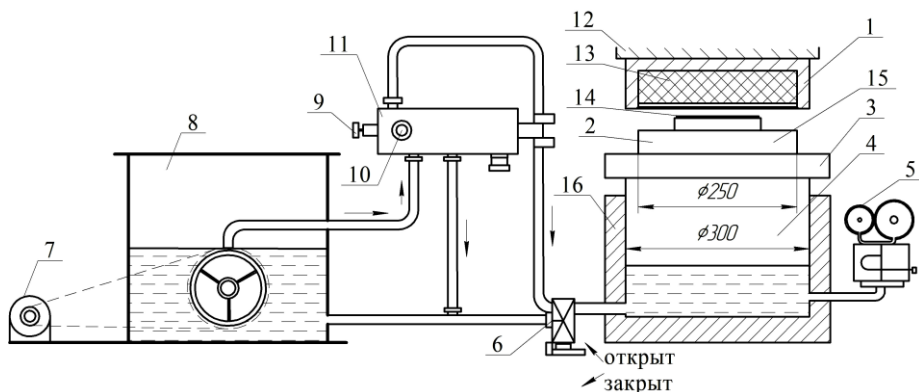


Рис. 4.5. Схема лабораторного пресса для штамповки эластичной средой:

- 1 – контейнер; 2 – подштамповая плита; 3 – стол пресса; 4 – поршень; 5 – манометры;
- 6 – спусковой клапан; 7 – электродвигатель; 8 – насосный агрегат; 9, 10 – вентили;
- 11 – гидропанель; 12 – траверса пресса; 13 – эластичная подушка; 14 – заготовка детали; 15 – матрица; 16 – цилиндр

Перемещение поршня 4 со столом 3 в сторону контейнера 1 и создание рабочего усилия  $P_{пр}$  осуществляется давлением масла, поступающего в нижнюю часть цилиндра 16 из насосного агрегата 8, который приводится в действие электродвигателем 7. Управление прессом осуществляется при помощи регулировочного вентиля 9, вентиля сброса избытка масла 10 и спускового клапана 6. Вентили 9 и 10 смонтированы на гидропанели 11. Давление масла в гидросистеме пресса измеряется манометрами 5.

Паспортные данные пресса: максимальное усилие  $P_{\max} = 2000$  кН; ход поршня 250 мм; диаметр поршня 360 мм; диаметр подштамповой плиты 250 мм; масса пресса 1500 кг; габариты пресса 1967×1300×860 мм.

### **Рабочий инструмент**

В качестве жесткого дыропробивного инструмента при экспериментальном исследовании используется стальная дыропробивная матрица, конструкция которой изображена на рис. 4.6. Диаметры отверстий в матрице равны диаметрам соответствующих отверстий в детали по заданию согласно табл. 4.1 и рис. 4.6. Для выполнения всех 14 заданий имеется всего шесть матриц, размеры которых приведены в табл. 4.2. Каждая матрица предназначена для пробивки шести отверстий, предусмотренных заданием. Высота инструмента  $h_{ш}$  взята такой, чтобы отход в процессе пробивки отверстия не опирался о подштамповую плиту до момента разрушения материала по контуру резки.

Для фиксирования заготовки детали в плоскости жесткого инструмента относительно пробиваемых отверстий применен фиксирующий штифт 2, запрессованный в тело матрицы 1 (рис. 4.6).

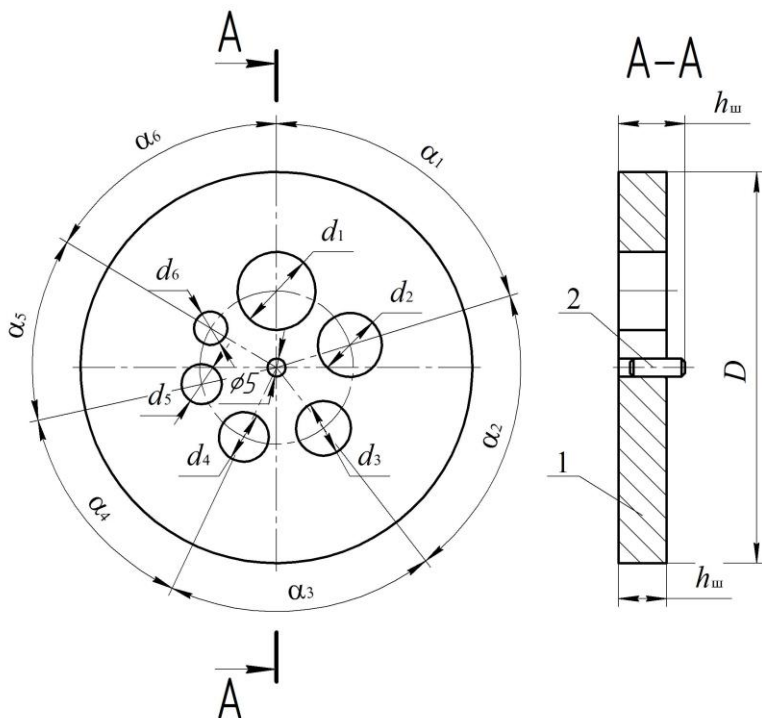


Рис. 4.6. Экспериментальная матрица для пробивки круглых отверстий

Таблица 4.2. Геометрические параметры экспериментальных дыропробивных матриц

№	Размеры, мм										Углы, град.					
	$D$	$r$	$h_w$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_\phi$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$
1	110	27	15	33	22	15	10	7	3	20	92	68	55	44	35	66
2	140	34	15	50	33	22	15	10	5	20	100	69	51	40	31	69
3	142	36	15	50	35	25	18	13	7	20	92	66	55	46	35	66
4	150	39	15	50	40	30	23	18	10	20	89	71	56	46	36	62
5	174	47	20	60	50	40	32	26	14	25	86	70	59	49	37	59
6	192	53	20	65	54	45	38	32	20	25	81	68	58	52	41	60

В табл. 4.3 приведены номера матриц, которые используются для выполнения соответствующих заданий по табл. 4.1.

Таблица 4.3. Номера матриц

Номера заданий по табл. 4.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Номера матриц по табл. 4.2	2	3	4	4	5	1	1	2	2	3	4	3	5	6

### Выполнение экспериментального исследования

Перед выполнением экспериментального исследования студент изучает устройство лабораторного пресса БКК-200 М1, конструкцию экспериментального контейнера и жесткого штампуемого инструмента, которые следует применять для экспериментальной пробирки отверстий в заданной детали.

Затем студент знакомится с правилами техники безопасности при работе на гидравлических прессах. После этого по номеру задания на деталь студент подбирает соответствующую жесткую матрицу (по табл. 4.1, 4.2, 4.3) и необходимую заготовку детали, производит замер фактической толщины заготовки (замер производится при помощи материального устройства с индикатором часового типа или микрометром). Данные замера вносятся в отчетный бланк.

#### *Экспериментальные работы*

Экспериментальные исследования студент выполняет совместно с лаборантом. Матрица с заготовкой укладывается на подштамповую плиту и пресс приводится в действие. После этого студент внимательно следит за положением стрелки манометра. Момент пробивки отверстия сопровождается характерным щелчком и остановкой на мгновение стрелки манометра. В этот момент надо зафиксировать визуально показание манометра пресса и записать его.

В матрице имеются шесть отверстий различного диаметра, для пробивки каждого из которых требуется определенное давление со стороны эластичной среды. Для отверстий большего диаметра оно будет меньше; по мере уменьшения диаметра отверстия оно будет расти (это следует из формулы (4.3), по которой подсчитывалось давление при выполнении первой части лабораторной работы).

Поэтому по мере увеличения внешней нагрузки щелчки и остановки стрелки манометра будут происходить последовательно друг за другом. Первый щелчок и остановка стрелки будут соответствовать пробивке наибольшего отверстия, т. е.  $d_1$  (по табл. 4.1), второй —  $d_2$  и т. д. Показания манометра фиксируются при каждом щелчке.

Если последнего (шестого) щелчка не последует даже при максимальной нагрузке со стороны ползуна пресса, то это означает, что усилия пресса недостаточно и пробивка отверстия диаметром  $d_6$  по этой причине не произошла.

Показания манометра пресса по пробитым отверстиям заносят в ответный бланк.

### **Математическая обработка результатов экспериментального исследования**

- Расчет фактического давления со стороны эластичной среды на заготовку и усилия пресса

Давление со стороны эластичной среды на заготовку определяется для каждого пробитого отверстия по формуле перехода от давления в цилиндре пресса к давлению в контейнере:

$$q_k = q_m \frac{d_u^2}{d_k^2}, \quad (4.11)$$

где  $q_m$  — давление в цилиндре пресса по показанию манометра;

$d_{ц}$  — диаметр внутренней полости цилиндра (поршня) пресса по паспорту;

$d_k$  — диаметр внутренней полости контейнера (подштамповой плиты) по паспорту пресса;

$q_k$  — фактическое давление эластичной среды в контейнере. Усилие пресса определяется для каждого пробитого отверстия по формуле

$$P_{np} = q_m F_n, \quad (4.12)$$

где  $F_n$  — площадь поперечного сечения поршня цилиндра пресса.

Результаты расчетов давлений и усилия вписываются в соответствующие графы отчетного бланка. Для непробитого отверстия в графу бланка записывается: «Пробивка не произошла».



По данным экспериментальных значений  $P_{пр}$  и  $q$  на ранее выполненных теоретических (расчетных) графиках  $q = f(d)$  и  $P_{пр} = f(d)$  строятся экспериментальные кривые.

- Расчет действительного значения условного сопротивления материала срезу

Действительное значение условного сопротивления материала срезу определяется для каждого отверстия экспериментальной дыропробивной матрицы и для фактической толщины штампуемого материала. Расчет ведется по формуле (4.3), которая для этого может быть переписана в следующем виде:

$$\sigma_{cp} = \frac{qd_i}{4S}, \quad (4.13)$$

где  $d_i$  – диаметр отверстия (от  $d_1$  до  $d_6$ ), пробиваемого в экспериментальной заготовке;

$S$  – действительная толщина заготовки (определяется замером микрометра);

$q$  – действительное давление со стороны эластичного пуансона, определяемое для отверстий каждого диаметра.

Найденные по формуле (4.13) действительные значения  $\sigma_{cp}$  сравниваются между собой и выявляется характер и степень влияния на  $\sigma_{cp}$  диаметра пробиваемого отверстия. Далее вычисляется среднее значение  $\sigma'_{cp}$ :

$$\sigma'_{cp} = \frac{1}{6}(\sigma_{cp1} + \sigma_{cp2} + \sigma_{cp3} + \sigma_{cp4} + \sigma_{cp5} + \sigma_{cp6}), \quad (4.14)$$

сравнивается с сопротивлением срезу из табл. 4.1 и определяется величина отклонения табличного значения  $\sigma_{cp}$  от действительного в % по формуле

$$K_{от} = \pm \left( 1 - \frac{\sigma_{cp}}{\sigma'_{cp}} \right) 100, \quad (4.15)$$

где  $K_{от}$  – величина указанного отклонения.

- Определены давления  $q$  и усилия  $P_{пр}$ , необходимые для пробивки отверстий в заданной детали с учетом действительных значений  $\sigma_{cp}$  и  $S$ .

Расчет давления  $q$  со стороны эластичной среды по фактическим значениям  $\sigma_{ср}$  и  $S$  ведется по формуле (4.3), а усилий  $P_{пр}$  по формуле (4.6). В эти формулы для каждого диаметра отверстия подставляются найденные выше действительные значения  $\sigma_{ср}$  и  $S$ . Данные расчетов вписываются в соответствующие графы отчетного бланка. Затем по ним на графиках  $q = f(d)$  и  $P_{пр} = f(d)$  строятся вторые теоретические (расчетные) кривые.

На основе анализа расчетных и действительных кривых графиков  $q = f(d)$  и  $P_{пр} = f(d)$  производится оценка степени совпадения расчетных и экспериментальных данных и дается объяснение причин обнаруженных отклонений.

В заключение студент дает визуальную оценку качества кромки среза по каждому пробитому отверстию, наличия и величины заусенцев, влияния на качество кромки диаметра пробиваемого отверстия. В отчетном бланке приводится эскиз сечения детали по кромке среза.

Давление  $q$  и усилие  $P_{пр}$  определяются в случае, если марка материала заданной детали совпадает с маркой материала экспериментальной заготовки, В противном случае расчеты не производятся.

### **Контрольные вопросы**

1. В каких деталях и какие по форме отверстия можно пробивать эластичной средой?
2. Какова роль эластичной среды и жесткого штампующего инструмента при пробивке отверстий?
3. В чем заключается главная особенность процессов разделительной штамповки эластичной средой и в каких видах производства они находят наиболее эффективное применение?
4. На какие стадии можно разделить процесс пробивки отверстий эластичной средой?
5. Какие факторы оказывают влияние на давление эластичной среды и усилие прессы, необходимые для пробивки отверстий? Каков характер этого влияния?

6. Для чего определяют минимально допустимый размер отверстия, пробиваемого эластичной средой? Какие факторы оказывают влияние на его величину? Каков характер этого влияния?

7. Какова разница между давлением эластичной среды, необходимым для пробивки отверстия, имеющего наименьший диаметр в заданной детали, и всех отверстий одновременно?

8. Какова разница между давлением эластичной среды, необходимым для пробивки отверстия, имеющего наибольший диаметр в заданной детали, и всех отверстий одновременно?

9. Что понимают под коэффициентом использования усилия прессы при пробивке отверстий эластичной средой? Какие факторы оказывают влияние на его величину? Каков характер этого влияния?

10. Какой принцип положен в основу вывода расчетных формул для определения силовых параметров пробивки отверстий эластичной средой?

11. Чем можно объяснить некоторую разницу между расчетными значениями силовых параметров процесса пробивки отверстий эластичной средой и экспериментальными данными? Какие факторы и какое влияние оказывают на величину полученной погрешности?

12. Какое влияние на величину давления пробивки отверстия оказывают механические свойства эластичной среды?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Режущий инструмент: учеб. для вузов / *Д. В. Кожевников, В.А. Гречишников, С. В. Кирсанов* [и др.]; под общ. ред. *С. В. Кирсанова*. М.: Машиностроение, 2007. 528 с.
2. Режущий инструмент: лаб. практикум / *В.И. Шагун, Э.М. Дечко, Э.Я. Ивашин* [и др.]. Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. 192 с.
3. *Шабалин Ю.А.* Изучение конструкции основных типов токарных резцов: метод. указания. Самара: СГАУ, 1992. 20 с.
4. *Кожевников Д. В., Кирсанов С. В.* Резание материалов: учеб. для вузов; под общ. ред. *С. В. Кирсанова*. М.: Машиностроение, 2007. 303с.
5. Обработка металлов резанием: справочник технолога / [*А.А. Панов* и др.]; под общ. ред. *А.А. Панова*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.
6. Режимы резания металлов: справочник / *Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич* [и др.]. М.: НИИТавтопром, 1995. 456с.
7. *Пытьев П.Я.* Технология листовой штамповки эластичными средами: учеб. пособие. Самара: СГАУ, 1993. 186 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

### **МИКРОСКОП МАЛЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ММИ-2**

#### **Краткое описание и руководство к пользованию**

## II.1 НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА

Микроскоп малый инструментальный типа ММИ-2 предназначен для измерения линейных размеров в прямоугольных координатах.

Устройство микроскопа позволяет измерять элементы профиля наружных резьб, углы, конусы, радиусы, рабочие размеры различных шаблонов и другое.

Инструментальные микроскопы являются лабораторными приборами и поэтому в помещении, где они установлены, должна поддерживаться температура  $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}$  и относительная влажность не превышать 70%.

## II. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

### Основные параметры и размеры

Пределы измерений в мм: в продольном направлении в поперечном направлении	0-75 0-25
Пределы измерения микрометрическими винтами в мм	0-25
Увеличение основного микроскопа	$10^{\times}$ ; $30^{\times}$ ; $50^{\times}$
Увеличение объективов	$1^{\times}$ ; $3^{\times}$ ; $5^{\times}$
Увеличение окуляра	$10^{\times}$
Поле зрения основного микроскопа (диаметр рассматриваемого круга) в зависимости от увеличения в мм	21;7;4,2
Увеличение отсчетного микроскопа окулярной угломерной головки	$45^{\times}$
Наибольшее расстояние между центрами в мм	200
Наибольший диаметр устанавливаемого в центрах изделия в мм	55
Наибольшее расстояние между объективом и измерительным столом в мм	130

Расстояние от колонки до оси тубуса микроскопа (вылет) в мм, не менее	80
Цена деления: шкалы микрометрических винтов в мм угломерной головки в минутах	0,005 1
Пределы поворота стола в градусах	0-10
Пределы наклона колонки микроскопа от вертикального положения в градусах	$\pm 10$
Цена деления шкалы наклона микроскопа в градусах	0,5

## II.2 КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Общий вид прибора представлен на рис. П1.

Микроскоп состоит из чугунного основания 18, на котором смонтирован измерительный стол 19 с микрометрическими винтами продольного 28 и поперечного 27 перемещений и колонка 20, по направляющим которой при помощи маховичков 23 перемещается кронштейн 22 с микроскопом. В задней стенке основания смонтировано осветительное устройство 34.

Измерительный стол 19 (рис. П1) установлен на направляющих и может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи микрометрических винтов. Величина перемещения стола определяется по масштабным гильзам и барабанам, связанным с микрометрическими винтами (микрометрические винты для краткости будут сокращенно именоваться «микровинты»). Цена деления на барабане 0,005 мм. Шаг микровинта 1 мм.

В верхней части стола имеется предметное стекло, на которое ставятся измеряемые объекты.

В продольном направлении стол может перемещаться независимо от микровинта на длину 50 мм. Таким образом, применяя плоскопараллельные концевые меры длины до 50 мм, можно измерять длину до 75 мм.

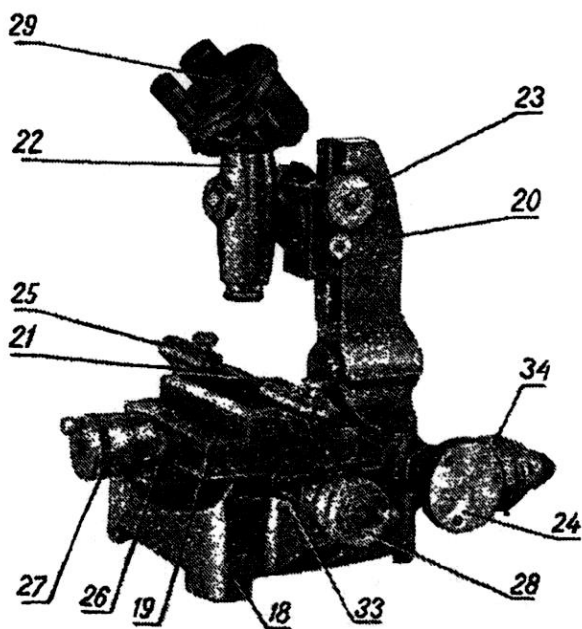


Рис. III. Внешний вид

Стол микроскопа находится под действием сильных пружин, что обеспечивает необходимый контакт между торцом штока микровинта и доведенным упором стола.

При работе с применением плоскопараллельных концевых мер длины последние должны укладываться на специальную шлифованную площадку 33 основания.

При выполнении измерительных операций стол приходится часто отводить в крайнее левое положение, при котором он теряет контакт с микровинтом. Возвращение его в исходное положение происходит под действием вышеуказанных пружин.

Во избежание ударов движение стола замедляется специальным механизмом — амортизатором.

Амортизатор работает только при движении измерительного стола слева направо. При этом механизм посредством ряда шестерен вызывает вращение крыльчатки. Крыльчатка испытывает сопротивление воздуха, что и создает равномерность в перемещении стола.



### П.3 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЬБЫ

Инструментальный микроскоп ММИ-2 позволяет измерять следующие элементы резьбы болтов и метчиков (с четным числом канавок): наружный диаметр  $d$ , внутренний диаметр  $d_1$ , средний диаметр  $d_2$ , шаг  $S$  и половины угла профиля  $\alpha/2$ .

Эти же элементы, за исключением среднего диаметра, можно поверять и у резьбового калибра.

#### **Измерение наружного диаметра резьбы и диаметра гладких цилиндрических деталей**

Для измерения наружного диаметра резьбы изделие закрепляют в центрах или V-образных подставках, а затем устанавливают его параллельно продольному ходу предметного стола. Для этого совмещают с помощью поперечного микровинта горизонтальную штриховую линию штриховой сетки окулярной угломерной головки с изображением вершин профиля резьбы и поверяют совмещение по всей длине, перемещая стол в продольном направлении. Затем производят первый отсчет по барабану поперечного микровинта. С помощью этого же микровинта перемещают измерительный стол с деталью до совмещения изображения вершин профиля противоположной стороны резьбы с той же штриховой линией штриховой сетки и производят второй отсчет.

Разность отсчетов дает величину наружного диаметра резьбы. За окончательный результат измерения следует принимать среднее арифметическое из двух - трех разностей отсчетов.

Измерение диаметров гладких цилиндрических деталей производится аналогично.

#### **Измерение внутреннего диаметра резьбы**

Измерение внутреннего диаметра производится методом, указанным для измерения наружного диаметра, но не менее чем в двух сечениях, перпендикулярных оси резьбовой детали (Для устранения влияния мертвого хода микровинтов прибора на результат измерения следует перемещать измерительный стол так, чтобы при совмещении теневого контура детали со штриховой линией сетки края теневого

контура подходили к этой линии с одной и той же стороны, для чего необходимо вращать барабан микровинта в одну и ту же сторону).

### **Измерение среднего диаметра**

Предварительно, так же как и при измерении наружного и внутреннего диаметров, резьбовую деталь, закрепленную в центрах, устанавливают параллельно продольному ходу предметного стола. Наклонив колонку на угол, равный углу подъема резьбы изделия, совмещают одну из штриховых линий штриховой сетки с изображением стороны профиля резьбы детали, действуя, при необходимости, поперечным и продольным микровинтами. Отметив первый отсчет по барабану поперечного микровинта, перемещают стол этим же винтом до появления диаметрально противоположной параллельной стороны профиля резьбы. Наклонив колонку на тот же угол, но в противоположную сторону, снова совмещают штриховую линию сетки с профилем резьбы и производят второй отсчет.

Разность отсчетов даст величину среднего диаметра резьбы, измеренного по одной стороне профиля.

После этого совмещают со штриховой линией штриховой сетки другую сторону профиля резьбы и повторяют измерения в том же порядке.

Фактической величиной среднего диаметра резьбы для данной нитки является среднее арифметическое из полученных результатов измерений по правым и левым сторонам профиля.

### **Измерение шага $S$**

Измерение шага резьбы может быть произведено с отсчетом по продольному микровинту прибора и с применением плоскопараллельных концевых мер длины.

При измерении колонку прибора необходимо наклонить на угол подъема резьбы. Затем совмещают с помощью продольного и поперечного микровинтов и одновременного вращения маховичка лимба окулярной угломерной головки изображение стороны профиля резьбы детали с одной из штриховых линий сетки окулярной угломерной головки (рис. П2).

Отсчеты производятся по барабану продольного микровинта. Как первый отсчет, так и все последующие должны являться средним арифметическим из нескольких отсчетов, которые осуществляются путем неоднократных совмещений измеряемого контура со штриховой линией окулярной угломерной головки. При измерении шага только микровинтом перемещают стол до совмещения с той же штриховой линией окулярной угломерной головки изображения стороны следующего витка профиля резьбы и производят второй отсчет.

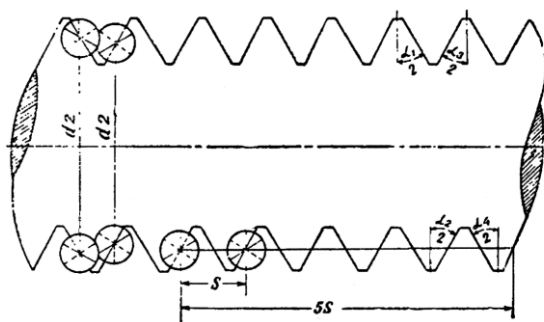


Рис. П2. Измерение шага резьбы

Разность полученных отсчетов даст величину шага (или суммы шагов, если перемещают стол на соответствующее расстояние), измеренного по одной стороне профиля.

Затем лимб окулярной угломерной головки поворачивают так, чтобы одна из его штриховых линий была параллельна изображению второй стороны профиля резьбы, и повторяют измерение способом, указанным выше.

Действительным размером шага на данном участке будет являться среднее арифметическое из полученных результатов измерений по левым и правым сторонам профиля.

При измерении концевыми мерами необходимо после совмещения изображения стороны одного из витков резьбы со штриховой линией сетки и производства первого отсчета по продольному микровинту отвести измерительный стол влево и поместить концевую меру.

Число витков ( $n$ ), между которыми производится измерение, умноженное на номинальный шаг ( $S$ ) резьбы, должно быть равно размеру установленной концевой меры.

При правильном шаге штриховая линия в поле зрения окажется совмещенной с изображением стороны соответствующего витка.

Если этого совмещения не наблюдается, то оно достигается вращением продольного микровинта. Разность показаний по барабану микровинта до и после совмещения даст величину погрешности шага на данной длине.

Измерение следует повторить, совмещая со штриховой линией окулярной угломерной головки вторые образующие профиля резьбы. Действительным размером шага на данном участке будет являться среднее арифметическое из полученных результатов измерений по правым и левым сторонам профиля.

Измерение шага по правым и левым сторонам профиля резьбы необходимо для исключения ошибки, могущей возникнуть за счет несовпадения оси винта с линией центров. Шаг измеряется со стороны профиля, обращенной к наблюдателю, и с противоположной стороны (рис. ПЗ). Среднее арифметическое из четырех полученных результатов измерений принимают за действительный размер шага на данном участке:

$$S_n = \frac{S_1n + S_2n + S_3n + S_4n}{4}.$$

Пример подсчета:

Производится измерение резьбы с номинальным шагом 2 мм.

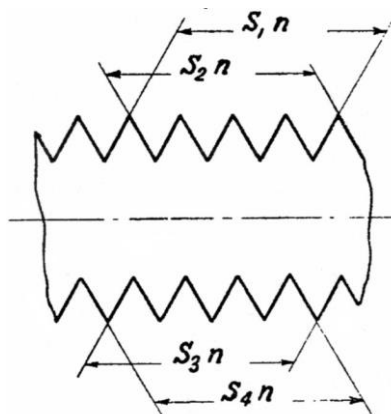


Рис. ПЗ. Схема замера

При измерении между крайними витками получены следующие результаты:

$$S_{\text{лев}} n = 10,006 \text{ мм}; S_{\text{прав}} n = 10,002 \text{ мм}.$$

$$Sn = \frac{S_{\text{лев}} n + S_{\text{прав}} n}{2} = \frac{10,006 + 10,002}{2} = 10,004 \text{ мм}.$$

### **Измерение половины угла профиля**

Измерение половин, а не целого угла необходимо для того, чтобы можно было судить о наклоне профиля к оси резьбы. Проекционный метод дает возможность выявить ошибки, вызываемые искажением профиля вследствие проектирования контура резьбы, а не осевого сечения. При измерении угла совмещают одну из линий штриховой сетки со стороной профиля резьбы и отсчитывают половину угла профиля.

Если биссектриса угла профиля перпендикулярна оси резьбы, то полученные углы должны быть равны.

В случае неравенства этих углов отклонение биссектрисы угла профиля от перпендикулярности к оси резьбы изделия может быть определено как половина разности между полученными значениями углов  $\alpha_1/2$  и  $\alpha_2/2$ .

Для исключения систематических ошибок измерения, являющихся результатом непараллельности оси резьбы продольному направлению перемещения стола, половины угла профиля следует измерять в одном осевом сечении, но с двух противоположных сторон.

При этом действительные значения половины угла профиля (правой и левой) определяют как среднее арифметическое из результатов измерений, произведенных по соответствующей стороне профиля, по следующим формулам:

$$\frac{\alpha}{2}_{\text{прав}} = \frac{\frac{\alpha_3}{2} + \frac{\alpha_4}{2}}{2}; \quad \frac{\alpha}{2}_{\text{лев}} = \frac{\frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2}}{2}.$$

Для осуществления измерения половин угла профиля на противоположной стороне резьбовой детали следует наклонить колонку прибора в противоположную сторону на угол, равный углу подъема резьбы.

Полученные результаты измерения значений половин угла профиля меньше их действительных значений, вследствие наклона колонки микроскопа (особенно при измерении резьб с углом подъема свыше  $4^\circ$ ).

Для получения тангенса действительных значений половины угла профиля следует тангенс измеренных значений половин угла профиля разделить на косинус угла подъема резьбы:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}}{\operatorname{Cos} \beta},$$

где  $\alpha/2$  – искомая половина угла профиля (половина угла профиля в осевом сечении);

$\alpha_1/2$  – измеренная половина угла профиля (половина угла профиля в сечении, расположенном под углом  $\beta$  к осевому сечению);

$\beta$  – угол подъема резьбы.

Например: допустим, что при измерении угла профиля резьбы с углом подъема  $4^\circ$  на стороне профиля резьбовой детали, ближней к наблюдателю, получены отсчеты (средние из трех)  $329^\circ 52'$ ;  $29^\circ 54'$ , соответствующие им половины угла профиля равны:

$$\alpha_2/2 = 30^\circ 8'; \quad \alpha_4/2 = 29^\circ 54'.$$

На противоположной стороне профиля резьбовой детали получены отсчеты  $30^\circ 2'$ ;  $329^\circ 56'$  (средние из трех).

Соответствующие им половины угла профиля равны:

$$\alpha_1/2 = 30^\circ 2'; \quad \alpha_3/2 = 30^\circ 4'.$$

Среднее значение половин угла профиля равно для левой половины угла:

$$(\alpha_1/2 + \alpha_2/2)/2 = (30^\circ 2' + 30^\circ 8')/2 = 30^\circ 5'.$$

Для правой половины угла:

$$(\alpha_3/2 + \alpha_4/2)/2 = (30^\circ 4' + 29^\circ 54')/2 = 29^\circ 59'.$$

Для получения более точного результата воспользуемся формулой, указанной выше:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2} \text{ лев}\right) = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_{\text{лев}}}{2}}{\operatorname{Cos}\beta} = \frac{\operatorname{tg} 30^{\circ} 5'}{\operatorname{Cos} 4^{\circ}} = \frac{0,57929}{0,99756} = 0,5807; \quad \frac{\alpha}{2} \text{ лев} \cong 30^{\circ} 9'.$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2} \text{ прав}\right) = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_{\text{прав}}}{2}}{\operatorname{Cos}\beta} = \frac{\operatorname{tg} 29^{\circ} 59'}{\operatorname{Cos} 4^{\circ}} = \frac{0,57696}{0,99756} = 0,57837;$$

$$\frac{\alpha}{2} \text{ прав} \cong 30^{\circ} 3'.$$

Отклонение биссектрисы угла профиля от перпендикулярности оси изделия равно:

$$(30^{\circ} 9' - 30^{\circ} 3')/2 = 3'.$$

Погрешности измерений половин угла профиля для резьбы с шагом менее 1 мм сильно возрастают ввиду трудности правильного совмещения изображения стороны профиля (очень малой длины) со штриховой линией сетки.

Уменьшение погрешностей измерения достигается повторными измерениями, что особенно важно при измерении резьбы с малой величиной шага.

Учебное издание

*Шаров Андрей Алексеевич,  
Ломовской Олег Владиславович,  
Громова Екатерина Георгиевна*

**ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ ОБРАБОТКОЙ РЕЗАНИЕМ И ДАВЛЕНИЕМ**

*Учебное пособие*

Редактор Т.К. Крестина  
Компьютерная вёрстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 04.09.2017. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печ. л. 5,0.  
Тираж 25 экз. Заказ . Арт. 19/2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Изд-во Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.