

05.11.74
M2 M23

МИНИСТЕРСТВО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ
И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СССР

СОЮЗЧАСПРОМ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЧАСОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ЧПУ

На правах рукописи

Манаков Юрий Андреевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ КАЛИБРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ
ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Специальность

05.11.14 - "Технология приборостроения"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1978

ЧПУ

Работа выполнена на кафедре "Технологии приборостроения"
Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Б.И. Шишков.

Официальные
оппоненты

- доктор технических наук, профессор
П.П. Месяцев,
- кандидат технических наук, старший
научный сотрудник Д.А. Вайнтрауб.

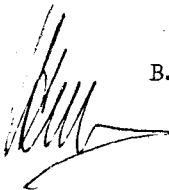
Ведущее предприятие - 2-й Московский часовой завод

Защита состоится " ____ " _____ 1979 г. в ____ часов
на заседании Специализированного Совета К.109.04.01 по присужде-
нию ученой степени кандидата технических наук в Научно-исследова-
тельском институте часовой промышленности (125315, г. Москва,
А-315, Часовая ул. 24/1, Научно-исследовательский институт часо-
вой промышленности).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЧАСПром.
Автореферат разослан " ____ " _____ 1978 г.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц принять участие в за-
седании специализированного Совета или прислать свои отзывы в 2-х
экземплярах с подписями, заверенными печатью Вашего учреждения, по
адресу: 125315, Москва, А-315, Часовая ул. 24/1, НИИЧАСПром.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник



В.И. КАЛАШНИКОВ

Актуальность темы. Проблемы повышения качества продукции и производительности труда являются наиболее важными для повышения уровня технического прогресса и являются одной из главных задач, поставленных XXV съездом КПСС на десятую пятилетку. Производство наручных и карманных часов в СССР непрерывно увеличивается и составило в прошедшем году более 30 млн. штук, реализуемых как в нашей стране, так и за рубежом. Одновременно с увеличением производства часов повышаются требования к их качеству и надежности, поэтому реализация этих требований является одной из важных задач, стоящих перед часовой промышленностью.

Калибрование отверстий штампами широко применяется в приборостроении при обработке группы отверстий в деталях авиационных приборов, затворов фотоаппаратов, счетно-решающих устройств и др. Названный метод является единственным высокопроизводительным способом окончательной обработки отверстий в платинах и мостах в условиях массового производства как на отечественных часовых заводах, так и за рубежом. Требование повышения качества и надежности работы механических и электронномеханических часов ставит задачу повышения точности обработки базовых деталей часовых механизмов - платин и мостов. Точность обработки отверстий в базовых деталях часовых механизмов в значительной мере определяет качество выпускаемых изделий, уровень взаимозаменяемости при сборке, снижение затрат на регулировочные и подгоночные операции, возможность автоматизации сборки. Поэтому задача повышения точности и стабильности калибрования отверстий в деталях часовых механизмов и размерной стойкости штампов является актуальной. Повышения точности и стабильности обработки отверстий можно достичь, зная закономерности влияния доминирующих факторов процесса на точность калибрования. Из этого следует актуальность задачи исследования влияния доминирующих конструктивно-технологических факторов на точность калибрования отверстий. Актуальность этой проблемы была отмечена на проходившей в 1975г. Всесоюзной научно-технической конференции "Современное состояние и перспективы развития приборов времени и технологии их производства".

Цель и задачи исследования. Выявить влияние доминирующих конструктивно-технологических факторов на точность калибрования отверстий, разработать пути повышения точности и стабильности их

обработки и научно обоснованные рекомендации на проектирование калибровочных штампов, обрабатываемой детали и технологического процесса ее изготовления.

Для достижения этой цели были поставлены следующие основные задачи:

1. Определить характер влияния параметров режущей кромки пуансона и калибруемого отверстия на точность размеров обработанного отверстия.
2. Определить закономерности изменения размеров прокалиброванных отверстий по мере затупления пуансона.
3. Выявить основные факторы и степень их влияния на погрешность формы калибруемых отверстий.
4. Определить влияние величины припуска и его неравномерности на точность расположения отверстий.
5. Разработать рекомендации по повышению точности и стабильности обработки отверстий и размерной стойкости штампов.

Общая методика исследований. При выполнении работы применен комплексный метод исследования. Каждый этап включает теоретическую и экспериментальную части с проведением исследований как в лабораторных условиях на натуральных, масштабных или поляризационно-оптических моделях, так и в производственных условиях. В теоретической части работы использованы положения прикладной теории упругости для расчета деформаций и метод итерации, сложные расчеты выполнялись на ЦВМ "НАИРИ". Экспериментальная часть работы проводилась с использованием методов математической статистики и теории вероятностей. Значимость влияющих факторов устанавливалась методами корреляционного анализа, сравнение средних значений выполнялось с использованием t -критерия Стьюдента.

Научная новизна работы. Разработана физическая модель процесса калибрования и схемы связей доминирующих факторов с точностью обработки, позволяющие анализировать и определять эффективные пути повышения точности калибрования отверстий. Разработана математическая модель усадки отверстий. Установлены закономерности изменения размеров отверстий между переточками пуансонов. Установлен специфический характер влияния величины припуска и его неравномерности на точность расположения отверстий. Получена математическая модель взаимодействия деталей для штампа с направ-

лением пуансонов. Впервые выявлены факторы и установлены закономерности их влияния на точность формы отверстий.

Практическая ценность работы. На основе установленных закономерностей предложены пути повышения точности и стабильности обработки отверстий при калибровании и размерной стойкости штампов. Предложена аналитическая формула для расчета величины усадки отверстий, уточнена методика расчета исполнительных размеров пуансонов. Разработан и защищен авторским свидетельством новый более точный способ калибрования. Комплекс выполненных исследований позволил разработать рекомендации по выбору ряда основных параметров калибровочного штампа и обрабатываемой детали, а также рекомендации на разработку новых и модернизацию существующих технологических процессов изготовления базовых деталей часовых механизмов, что повысило точность и стабильность обработки отверстий в платинах и мостах и размерную стойкость штампов.

Промышленная реализация результатов работы. Результаты работы внедрены на Челябинском и Угличском часовых заводах. Результаты работы взяты за основу при разработке РТМ на проектирование и эксплуатацию калибровочных штампов, действующих на Челябинском часовом заводе. Годовой экономический эффект от внедрения результатов работы по одному заводу составил 21,5 тыс. рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на: научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола в 1971-77 гг; IX городской научно-практической конференции "Новую технику и прогрессивную технологию - в производство" (Челябинск, 1972); Всесоюзной научно-технической конференции "Современное состояние и перспективы развития приборов времени и технология их производства" (Минск, 1975); Всесоюзном постоянно действующем семинаре "Современная технология производства приборов, средств автоматизации и систем управления" (Москва, 1976); зональном научно-техническом семинаре "Прогрессивные способы изготовления деталей штамповкой и холодным выдавливанием" (Челябинск, 1978).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, три отчета по научно-исследовательской работе, получено одно авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, списка литературы из 103 наименований, 13 приложений, содержит 146 стр. машинописного текста, 22 таблицы, 48 рисунков. Общий объем диссертации 239 страниц.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Вопросам точности обработки отверстий калиброванием штампами посвящены исследования Б.И.Шишкова, С.В.Тарасова, В.В.Коростелева, А.Н.Малова, Д.А.Вайнтрауба и др. Работы Я.И.Городецкого явились первыми лабораторными исследованиями, в которых нашли отражение вопросы точности калибрования отверстий.

Точность обработки тесно связана с механикой процесса калибрования, которая исследована в работах ряда названных ученых, а также работах Е.А.Попова, Г.А.Смирнова-Аляева и др. Показано, что основой процесса калибрования отверстий штампами является процесс резания.

Точность калибрования отверстий находится в тесной связи с технологией изготовления базовых деталей часовых механизмов - платин и мостов. Значительные работы по исследованию и совершенствованию технологии изготовления платин и мостов были проведены в Научно-исследовательском институте часовой промышленности. В СКБ ЧС, НИИЧАСПроме и ряде часовых заводов проведены работы, направленные на разработку и совершенствование оборудования с целью повышения точности обработки платин и мостов. Вопросы точности изготовления платин и мостов рассмотрены в работах Г.А.Круглова, К.А.Кузнецова, Д.Д.Малкина, Ф.И.Батыря, Б.С. Андреева и др.

Анализ ранее выполненных работ по точности калибрования отверстий штампами позволил выявить доминирующие факторы, влияющие на точность обработки: состояние режущей кромки пуансона, глубину калибрования, величину припуска и его неравномерность, погрешность формы обрабатываемой детали. Однако влияние доминирующих факторов на точность калибрования изучено недостаточно, что приводит к отсутствию научно обоснованных рекомендаций на проектирование калибровочных штампов, обрабатываемых деталей и технологических процессов их изготовления. Влияние состояния режущей кромки пуансона на точность размеров отверстий оценивается только качественно. Эмпирическая зависимость для определения усадки отверс-

тий в зависимости от глубины калибрования дает завышенный результат и неприменима в часовой промышленности. Имеющиеся методики для расчета исполнительных размеров пуансонов не обеспечивают получения требуемых размеров их. Закономерности изменения состояния режущей кромки пуансонов и степень влияния ее на точность размеров отверстий не выяснены. Погрешность формы отверстий и влияющие на нее факторы не изучены. Имеются противоречивые, взаимоисключающие мнения о влиянии величины припуска на точность расположения прокалиброванных отверстий.

Неравномерность припуска при калибровании оценивается величиной эксцентриситета между осями пуансонов и предварительно подготовленного отверстия. Исследования влияния эксцентриситета на точность расположения обработанных отверстий выполнены для пуансонов без направления их съемником, а применяемые при этом методики не позволяли исследовать влияние собственно эксцентриситета на точность обработки. Как показывает практика часовых заводов, в условиях производства не обеспечивается требуемая стабильность обработки отверстий. Низка размерная стойкость штампов.

На основании проведенного анализа определена цель и поставлены задачи данной работы.

Калибрование штампами обеспечивает точность размеров, формы и взаимного расположения отверстий. Доминирующие факторы оказывают преобладающее влияние на тот или иной параметр точности. Поэтому общий план исследований включает следующие этапы:

- а) построение модели процесса и аналитическое исследование влияния радиуса округления режущей кромки пуансона и глубины калибрования на точность размеров отверстий с последующей экспериментальной проверкой;
- б) исследование в производственных условиях изменения размеров отверстий между переточками пуансонов;
- в) аналитическое и экспериментальное исследование погрешности формы отверстий при калибровании;
- г) аналитическое и экспериментальное исследование влияния величины припуска и его неравномерности, погрешности формы детали на точность расположения отверстий;
- д) разработку путей повышения точности и стабильности калибрования отверстий и размерной стойкости штампов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ПУАНСОНА И ГЛУБИНЫ КАЛИБРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ

Анализ явлений, имеющих место при калибровании отверстий, основывался на выявлении структурных связей между влияющими факторами и точностью обработки.

На основании современных представлений о механике процесса резания разработана физическая модель процесса калибрования пуансоном, имеющим радиус округления режущей кромки ρ , и упруго-пластическим оттеснением материала, лежащего снаружи от геометрической линии среза. Возникающее контактное давление между пуансоном и стенкой формируемого отверстия зависит не только от геометрических параметров режущей кромки пуансона и процесса стружкообразования, но и от глубины калибрования h . По мере увеличения h увеличивается уровень напряженного состояния в зоне резания. Для учета увеличения контактного давления с глубиной калибрования предложено ввести коэффициент $k_k = (0,23h + 0,88)$.

Точность размеров отверстий определяет величина отклонений их диаметров от размеров пуансона, названная усадкой. Усадку отверстий определяют упругие радиальные перемещения стенок отверстия после выхода пуансона. Аналитический расчет упругих радиальных перемещений выполнен на основе решений Ляме для толстостенных цилиндров в случае упругих деформаций детали и на основе решений Т.М.Махоиной - для случая упруго-пластической деформации.

Если выполняются условия: $2P_{2n} < \sigma_{T1}$; $1,8P_{1n} < \sigma_{T2}$, где P_{2n} , P_{1n} - контактное давление соответственно на пуансоне и детали;

σ_{T1} , σ_{T2} - предел текучести материала соответственно пуансона и детали, то деформации пуансона и детали будут упругими. Полученные выражения для упругих радиальных перемещений точек контура пуансона и отверстий детали при этом имеют вид:

$$u_n = -\frac{P_k Z_n}{2E_1}; \quad u_d = 1,58 \frac{P_k Z_n}{E_2},$$

где $P_k = \frac{(0,23h + 0,88)(1 - \cos \phi) E_1 E_2}{[(1 - \mu_1) E_2 + (1 + \mu_2) E_1] Z_n} \rho$ - результирующее

контактное давление; Z_n - радиус пуансона; E_1 , E_2 - модуль упругости материала пуансона и детали соответственно; μ_1 , μ_2 - коэффициент Пуассона для материала пуансона и детали соответственно.

но; ρ - радиус округления режущей кромки пуансона; ϕ - величина угла сдвига при калибровании.

Если выполняется условие $1,8\rho_y > \sigma_{T2}$, то деформации в детали будут упруго-пластическими. Полученное выражение для упругих радиальных перемещений стенок отверстия детали при упруго-пластической деформации имеет вид:

$$u_{g,yr} = \frac{\sigma_{T2} z_n \beta (\cos \varphi_T + \sqrt{3} \sin \varphi_T)}{2E_2},$$

где β - безразмерный радиус границы упругой и пластической областей, φ_T - значение вспомогательной функции φ на границе упругой и пластической областей. Значение φ_T определяется через геометрические размеры детали и значение вспомогательной функции φ на внутреннем контуре отверстия - φ_2 . Полученные выражения для определения значений β и φ_2 имеют вид:

$$\beta = \exp \frac{\sqrt{3}}{2} (\varphi_2 - \varphi_T) \sqrt{\frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_T}}; \quad \cos \left(\varphi_2 + \frac{\pi}{6} \right) = \frac{\sqrt{3} k_n (1 - \cos \phi) E_1 E_2}{[(1 - \mu_1) E_2 + (1 + \mu_2) E_1] d_n \sigma_{T2}} \rho.$$

Для вычисления усадки отверстий составлена программа для ЭВМ "НАИРИ". В процессе калибрования происходит уменьшение усадки отверстий на величину упругих деформаций пуансона и, связанное с этим, уменьшение контактного давления P_k . Поэтому при расчете усадки применен метод итераций. Анализ полученных результатов показал, что определение усадки отверстий с погрешностью, не превышающей 20%, можно проводить по формулам для случая упругой деформации детали.

Величина упругих деформаций пуансона мала, и ею с достаточной для практики точностью можно пренебречь. Полученная формула для определения усадки отверстий с учетом экспериментально полученного значения угла сдвига $\phi = 30^\circ$ имеет вид:

$$i = \frac{0,4E_1(0,23k + 0,88)}{E_2(1 - \mu_1) + E_1(1 + \mu_2)} \rho.$$

Для пуансона из твердого сплава и детали из латуни имеем:

$i = (0,06k + 0,24) \rho$. Экспериментальная проверка полученных зависимостей показала удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных.

В работе показано, что существующие методики расчета исполнительных размеров пуансонов не обеспечивает получения размеров отверстий на верхнем пределе поля допуска. Расчет исполнительных размеров пуансонов необходимо выполнять с учетом состояния его

режущей кромки и глубины калибрования, используя полученное выражение для усадки отверстия. Это позволяет получить размеры отверстий на верхнем пределе поля допуска и исключить в производственных условиях доработку пуансонов. Расчет исполнительных размеров пуансонов по уточненной методике внедрен на двух заводах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ ПРИ КАЛИБРОВАНИИ

Исследование изменения точности размеров отверстий между переточками пуансонов по мере увеличения количества обработанных деталей проводилось в производственном эксперименте на платине ЧК-3М-I для отверстий с размерами $0,992^{+0,006}$ мм, $1,19^{+0,006}$ мм, $+1,582^{+0,006}$ мм. Исследовалось два применяемых в часовой промышленности способа заточки пуансонов: заточка алмазной шайбой АСО4 и доводка алмазной пастой. Контроль размеров отверстий выполнялся методом выборок аттестованными на Челябинском инструментальном заводе "Калибр" гладкими калибрами с перепадом размеров 0,001 мм, изготовленных с точностью $\pm 0,0002$ мм. Постоянство усилия при измерении гарантировалось подпружиненной ручкой калибра. Радиус округления режущей кромки твердосплавных пуансонов записывался на профилографе-профилометре модели 201 с использованием разработанного приспособления и определялся по записанному профилю с помощью шаблона. Особенностью методики исследования является оценка величины изменения размеров отверстия по формуле $\Delta d_j = d_{max,j} - d_{факт,i}$, где $d_{max,j}$ - наибольший размер исследуемого j отверстия в эксперименте; $d_{факт,i}$ - среднее значение контролируемого размера отверстия в выборке. Это позволило исключить влияние качества заточки пуансонов и глубины калибрования на полученные результаты, так как влияние названных факторов на исследуемые параметры достаточно сильное. Обработка результатов эксперимента выполнена методами теории случайных функций.

По результатам эксперимента установлена закономерность изменения размеров отверстий между переточками пуансонов: наибольшее изменение размеров отверстий ($60+68\%$ от наибольшего значения Δd) имеет место при обработке первых 2+4 тыс. деталей после заточки, что связано с относительно быстрым увеличением в этот период радиуса округления ρ . Наибольшее изменение размеров происходит у отверстий, обработанных пуансонами с доведенными

торцами. При дальнейшей обработке изменение отверстий происходит достаточно медленно (32+40% от максимального значения Δd при количестве обработанных деталей II+I3 тыс.).

В работе дан анализ условий формирования радиуса округления режущей кромки пуансона, выдвинута и подтверждена гипотеза, объясняющая получение неодинаковой величины ρ по периметру режущей кромки пуансона при заточке. Экспериментально получены значения

ρ при заточке пуансонов кругами различной зернистости:

$\rho = 10,8$ мкм для круга АСР 63/50; $\rho = 8,7$ мкм для круга АСО4; $\rho = 7,4$ мкм при ручной доводке алмазной пастой с зерном М 7. Установленные закономерности изменения размеров отверстий при обработке позволяют наметить пути повышения точности калибрования и размерной стойкости штампов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ ПРИ КАЛИБРОВАНИИ

Погрешность формы отверстий в поперечном сечении можно оценить комплексным показателем - некрутостью. В работе дан анализ и выявлены основные факторы, влияющие на некрутость отверстий. Установлено, что некрутость отверстия обусловлена разницей величины радиуса округления режущей кромки пуансона по его периметру и расположением отверстия относительно контура детали или расточки. Действие названных факторов приводит к неодинаковой величине местного контактного давления на стенках отверстия и, следовательно, неодинаковой величине деформаций. На основании ранее найденных выражений для упругих радиальных перемещений получены формулы для определения некрутости. Влияние неодинаковой величины радиуса округления ρ на некрутость отверстия γ можно оценить выражением $\gamma = 0,136(\rho_1 - \rho_2)$. Влияние расположения отверстия на его некрутость - выражением $\gamma = 0,043\rho \left(\frac{z_n^2 + 3a^2}{a^2 - z_n^2} - \frac{z_n^2 + 3b^2}{b^2 - z_n^2} \right)$,

где a, b - величины радиусов внешнего контура отверстия. Экспериментальная проверка полученных зависимостей показала удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных в области упругих деформаций. При толщинах стенки отверстий порядка 0,11+0,14 мм и менее наблюдается пластическое течение металла со стороны тонкой стенки и характерное выпучивание на внешнем контуре.

Экспериментальное исследование некрутости отверстий выпол-

нялось и в производственных условиях. Запись круглограмм отверстий выполнялась на кругломере модели "Талиронд-5Г", обработка круглограмм выполнялась по методике Петродворцового часового завода. Установлено, что средняя величина некруглости отверстий, обработанных пуансонами с диапазоном рассеивания радиуса округления $\rho > 10$ мкм на (18+30%) больше, чем у отверстий с меньшей неоднородностью величины ρ . Коэффициенты корреляции при этом соответственно равны 0,73 и 0,044. Установлено также, что затупление пуансона не оказывает существенного влияния на некруглость отверстия. Способ заточки пуансонов оказывает влияние на погрешность формы отверстий. Так, сравнение средних значений величин некруглости отверстий, обработанных доведенными и заточенными пуансонами с использованием t - критерия Стьюдента показало, что с вероятностью вывода 0,99 расхождения значимы. Некруглость отверстий, обработанных доведенными пуансонами, на 22% меньше, чем обработанных заточенными пуансонами. Была выдвинута и подтверждена гипотеза о погрешности формы прокалиброванного отверстия в продольном сечении - конусности, направленной по ходу движения пуансона. Величина разности размеров сечений отверстия составляет: для камневых точек 0,5+1 мкм; для штифтовых и колоночных - 1,0+1,5 мкм. В результате проведенных исследований разработаны рекомендации на проектирование штампов и обрабатываемых деталей.

ТОЧНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ

В данном разделе работы исследовано влияние величины припуска и его неравномерности, погрешности формы детали на точность расположения отверстий. Точность обработки определяется величиной и особенностями приложения сил, действующих на пуансон, и вызываемыми при этом перемещениями и деформациями.

В работе дан анализ влияния усилия калибрования P на величину изгибающего момента, действующего на пуансон при различных величинах припуска. Показано, что с уменьшением величины припуска изгибающий момент, действующий на рабочем конце пуансона вследствие эксцентрично приложенной нагрузки, увеличивается, несмотря на некоторое увеличение усилия калибрования. Это приводит к снижению устойчивости пуансона.

Аналитическое решение задачи изгиба и деформаций пуансона, имеющего направление в съемнике, выполнено на основе положений

прикладной теории упругости. На основании масштабного физического моделирования выбрана расчетная схема. Рассматриваемая задача относится к одномерным задачам прикладной теории упругости. В работе показано, что неизвестные параметры смещения можно найти путем интегрирования приближенного уравнения изогнутой оси пуансона: $-EJ \frac{d^2y}{dx^2} = M(x)$, где $M(x)$ - изгибающий момент в рассматриваемом сечении. Для различных участков пуансона при заданных начальных условиях найдены уравнения его изогнутой оси. Так, для участка пуансона вне съёмника уравнение изогнутой оси имеет вид:

$$y_{II} = \left(\frac{y_0}{k} \frac{R_0}{kR_A} - \frac{R_c}{kR_A} \cos ka + \frac{R_b}{kR_A} \cos kb \right) \sin kx + \left(y_0 + \frac{M_0}{R_A} + \frac{R_c}{kR_A} \sin ka - \frac{R_b}{kR_A} \sin kb \right) \cos kx + \frac{1}{R_A} [M_0 + R_0 x + R_c(x-a) - R_A(x-b)],$$

где y_0, y_0 - начальные параметры в месте закрепления пуансона; R с соответствующим индексом - реакции; M_0 - момент в закреплении; a, b - длина пуансона от места закрепления до соответственно верхней и нижней плоскостей съёмника; $k^2 = RA/EJ$. Для определения неизвестных реакций составлена система из 5 уравнений, две из которой получены из уравнения изогнутой оси пуансона по известным перемещениям в местах контакта пуансона и съёмника: при $x=a, y_I = -Z_{Bx}$; при $x=b, y_{II} = Z_{Bbx}$; а три получены из условий статики. Система уравнений имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} (ka - \sin ka)R_0 + k(1 - \cos ka)M_0 &= kR_A Z_{Bx} - y_0 R_A \sin ka - y_0 k R_A \cos ka; \\ (kb - \sin kb)R_0 + k(1 - \cos kb)M_0 + [k(b-a) - \sin k(b-a)]R_c &= kR_A Z_{Bbx} - y_0 R_A \sin kb - y_0 k R_A \cos kb; \\ R_0 + R_c - R_b &= -P_u; \quad -M_0 + aR_c - bR_b = -(P_u l + P_e); \quad R_A = P. \end{aligned} \right\}$$

где l - длина пуансона; e - величина смещения центра приложения усилия калибрования.

Величина перемещения пуансона со стороны входа и выхода пуансона Z_{Bx} и Z_{Bbx} определялась из выражения $Z_i = |t_i| + |U_{ki}|$, где t_i - величина радиального зазора между пуансоном и съёмником по их геометрическим размерам; U_{ki} - величина контактной деформации на площади соприкосновения пуансона и съёмника.

Неодинаковая величина радиуса округления режущей кромки пуансона по его периметру приводит к появлению изгибающей силы P_u , для вычисления которой составлено промежуточное выражение $F = \int_{(S)} g_1(\alpha, \varphi) \cos \alpha \sin \varphi dS$. После интегрирования, вычислений и

отбрасывания величин второго порядка малости получено выражение для определения изгибающего усилия

$$P_u = (1 - \cos \varphi_1) (\rho_2 - \rho_1) (0,25 R \rho_2 + 0,5 q) z_n,$$

где φ_1 - центральный угол, определяющий положение участка режущей кромки пуансона с отличающимся ρ ; q - удельное давление на торце пуансона.

Смещение рабочего конца пуансона в результате действия сил и деформаций определяет точность расположения обработанных отверстий. Для определения величин реакций и смещений пуансона составлены программы для ЭВМ "НАИРИ" и исследовано влияние на них величины припуска и его неравномерности. При расчете использован метод итераций.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на смещение конца пуансона оказывает зазор со стороны выхода пуансона. Исследование формы направляющей поверхности втулки съёмника в работающих штампах показало, что последняя имеет форму двух поставленных малыми сечениями друг на друга усеченных конусов. Конусная форма направляющей поверхности втулки съёмника увеличивает возможные смещения пуансона. Показано, что с изменением направления эксцентриситета изменяется направление изгиба пуансона, что приводит к выборке зазора между пуансоном и съёмником в противоположные стороны. Суммарная величина смещения конца пуансона при этом увеличивается, что снижает стабильность расположения отверстий.

Полученная математическая модель позволяет оценить усилия, действующие на съёмник штампа. Показано, что с уменьшением величины припуска возрастают усилия, действующие на съёмник. В работе дан анализ силовых взаимодействий основных деталей штампа: пуансона и съёмника.

Экспериментальные исследования влияния величины припуска и его неравномерности на точность расположения отверстий выполнено с использованием специально разработанного приспособления, моделирующего в натуральном масштабе одноименные величины реального калибровочного штампа: размеры, направление в съёмнике, величины зазоров и др. Измерения выполнялись на координатно-измерительном приборе "Гаузер" модели Р-324. Калибрование - на координатно-расточном станке модели "Гаузер". Цена одного деления применяемых прибора и станка - 0,001 мм. Высокая точность применяемого оборуду-

дования и разработанное приспособление позволили исследовать влияние собственно эксцентриситета на точность расположения отверстий. Исследовались величины диаметральных припусков 0,1 мм; 0,15 мм; 0,2 мм; и эксцентриситеты от 0+0,08 мм. Обработка данных выполнена статистическими методами.

Результаты эксперимента подтвердили правильность аналитических выводов. Получены сглаженные по методу наименьших квадратов экспериментальные зависимости для погрешности расположения отверстий: для $2\Delta = 0,1$ мм; $-\Delta\bar{y} = 54,5 e_e + 3,14$; для $2\Delta = 0,15$ мм $-\Delta\bar{y} = 18 e_e + 2,89$; для $2\Delta = 0,2$ мм $-\Delta\bar{y} = 17,5 e_e + 2,99$, где e_e - величина эксцентриситета между осями пуансона и предварительно подготовленного отверстия.

Установлено, что величина припуска влияет на точность расположения отверстий и с уменьшением его погрешность расположения возрастает. При величине припуска $2\Delta = 0,1$ мм средняя величина погрешности на 30% больше, чем при припуске 0,15+0,2 мм. С увеличением эксцентриситета погрешность расположения отверстий увеличивается. Однако при всех исследованных величинах эксцентриситета средняя величина погрешности на превысила величины зазора между пуансоном и втулкой съемника. Установлено, что диапазон рассеивания погрешности расположения отверстий при равномерном припуске на 24% больше, чем при наличии однонаправленного эксцентриситета. Проведенная на поляризационно-оптической модели проверка показала, что усилия в сопряжении пуансон-втулка съемника малы.

В работе дан анализ влияния погрешности формы обрабатываемой детали на точность расположения прокалиброванных отверстий. Экспериментально установлено, что неплоскостность детали существенно влияет на точность и стабильность расположения отверстий и отклонение их продольной оси от заданного направления. С увеличением неплоскостности детали увеличивается разница средних величин межцентровых расстояний между одноименными отверстиями детали и съемника штампа.

Установленные закономерности влияния рассмотренных факторов позволили наметить пути повышения точности калибрования отверстий и разработать научно обоснованные рекомендации на проектирование штампов, обрабатываемых деталей и технологических процессов их изготовления. Установленные закономерности влияния величины эксцентриситета на точность расположения позволяют рекомендовать одноразовое калибрование отверстий. Одноразовое калибрование внедрено

на 2-х часовых заводах на обработке 7 мостов, что позволило повысить производительность труда без изменения качества калибрования отверстий. Предполагаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований составит по отрасли порядка 250 тыс. руб.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КАЛИБРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ И РАЗМЕРНОЙ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВ

На основании установленных закономерностей разработаны пути повышения точности и стабильности калибрования отверстий и размерной стойкости штампов.

Для повышения точности диаметральных размеров отверстий и размерной стойкости штампов необходимо после заточки выполнять искусственное притупление режущей кромки пуансона до величины радиуса округления, равной естественно образованному радиусу после периода приработки. Величина естественно образованного радиуса для заточенных пуансонов равна $11+14$ мкм. Для притупления разработано специальное приспособление и подобраны режимы.

Экспериментальная проверка предлагаемого пути проведена в условиях производства и дала положительный результат. Пуансонами с притупленной режущей кромкой обработано более 50 тыс. деталей с обеспечением всех нормируемых параметров. Контрольные пуансоны без притупления за время эксперимента подвергались переточке. Диапазон изменения размеров отверстий, обработанных пуансонами с притупленной режущей кромкой, не превысил за время эксперимента 0,003 мм. Калибрование с искусственным притуплением режущей кромки пуансона внедрено на одном из часовых заводов, что позволило повысить размерную стойкость штампов в 3 раза в сравнении с нормируемой в настоящее время. Достижение точности размеров отверстий выше 0,003 мм связано с точностью изготовления пуансонов и необходимостью их учащенной переточки.

В работе показано, что размерная стойкость штампа в значительной мере зависит от исполнительного размера пуансона. Размер пуансона должен после заточки обеспечивать получение размера отверстия на верхнем пределе его поля допуска. Ошибочная, на наш взгляд, практика назначения допуска на изготовление пуансона в системе вала и изготовление его с меньшими, чем номинальные, размерами, существенно снижает размерную стойкость пуансонов. Показано, что для более полного использования производственного поля допуска от-

верстия целесообразно назначать допуск на изготовление пуансонов по схеме расположения полей допусков непроходных гладких калибров для отверстий I-го класса точности. Вычисленная вероятность брака отверстия при этом составит не более 2,46%.

Для повышения точности и стабильности расположения отверстий необходимо выполнять калибрование с одинаково направленным эксцентриситетом для всех калибруемых отверстий. Однонаправленный эксцентриситет обеспечивает выборку зазора между пуансоном и втулкой съемника в одном направлении для всех калибруемых отверстий, а также постоянство деформаций деталей. В работе разработана методика и подобраны параметры смещения. Показано, что с вероятностью 0,95 для всех калибруемых отверстий величина смещения центров предварительно подготовленных отверстий равна 2σ , где σ - среднеквадратическая погрешность предварительной обработки отверстий. Направление смещения - по оси наименьшей жесткости детали к ее центру. Предлагаемый способ калибрования с преднамеренным смещением предварительно подготовленных отверстий проверен экспериментально и защищен авторским свидетельством (а.с. 493615). В условиях производства одним штампом обработаны две партии мостов: 5.000 со смещением и контрольная 4.000 по существующему технологическому процессу. Величина смещения отверстий при калибровании 0,02 мм. Контроль межцентровых расстояний выполнен методом выборок. По результатам измерений на ЭВМ вычислены статистические характеристики. Установлено, что диапазон рассеивания отклонений межцентрового расстояния $\Delta L_{ш1-ш2}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\Delta L}$ в партии со смещением на 14% меньше, чем в контрольной.

Точность и стабильность расположения отверстий при калибровании повышается также при увеличении припуска на обработку. Поэтому припуск на калибрование необходимо увеличивать. Однако увеличение диаметрального припуска свыше 0,2 мм ухудшает шероховатость поверхности отверстия. В работе даны рекомендуемые величины припуска для различных размеров отверстий. Калибрование с увеличенными припусками внедрено на двух заводах. Как показали результаты внедрения, уровень взаимозаменяемости при обработке повысился на 18%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На основе выполненного анализа точности обработки отверстий калиброванием в штампах установлены доминирующие факторы, влияющие на точность калибрования и показано, что их влияние изучено недостаточно и нуждается в уточнении и доработке.

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные результаты работы:

1. На основе разработанной модели процесса калибрования дана математическая модель и исследовано влияние радиуса округления режущей кромки пуансона и глубины обработки на точность размеров отверстий. Методами прикладной теории упругости получена формула для определения величины усадки отверстий, результаты расчета по которой удовлетворительно согласуются с данными эксперимента.

2. Впервые исследована точность формы отверстий при калибровании. Установлено, что с увеличением неоднородности величины радиуса округления режущей кромки по периметру пуансона и приближением отверстия к контуру детали или расточки некруглость обработанного отверстия увеличивается. Установлено также наличие конусности отверстия в продольном сечении, которая увеличивается с увеличением высоты калибруемого отверстия.

3. Определено влияние величины припуска и его неравномерности на точность расположения отверстий. Установлен специфический характер влияния величины припуска на точность обработки: с уменьшением величины припуска точность расположения прокалиброванных отверстий снижается.

Установлено, что на точность расположения отверстий существенное влияние оказывает не величина эксцентриситета между осями пуансона и калибруемого отверстия, как это считалось ранее, а его разнонаправленность. Степень влияния величины эксцентриситета не выходит, как правило, за величину зазора между пуансоном и втулочной съёмника.

4. На основе комплексного подхода разработана и исследована математическая модель влияния величины припуска и его неравномерности, конструктивных параметров штампа на величину усилий в сопряжении пуансон-съёмник и смещения пуансона. Показано, что с уменьшением величины припуска и увеличением эксцентриситета нагрузка на съёмник возрастает. Особенность действующих на пуансон при

калибровании усилий приводит к неравномерному износу направляющей поверхности втулки съемника, которая становится конусоной, что увеличивает возможные смещения пуансона. Наибольшее влияние на смещение оказывает зазор между пуансоном и втулкой съемника со стороны выхода пуансона.

5. Установлена закономерность изменения размеров отверстий по мере затупления пуансонов. Наибольшее изменение размеров отверстий имеет место при обработке первых после заточки 2-4 тыс. деталей, и более сильно проявляется для отверстий, обработанных пуансонами с доведенными торцами.

6. Показано и экспериментально подтверждено существенное влияние неплоскостности детали на точность и стабильность расположения отверстий и отклонение их продольной оси от заданного направления.

7. На основании выводов по проведенным исследованиям разработаны рекомендации по повышению точности и стабильности размеров, формы, расположения отверстий и размерной стойкости штампов.

Рекомендуется: выполнять контролируемое искусственное притупление режущей кромки пуансонов, для чего разработано приспособление и методика притупления; калибрование выполнять с увеличенными величинами припусков и одинаково направленными эксцентриситетами для всех одноименных отверстий детали. Способ калибрования с преднамеренным смещением калибруемых отверстий проверен экспериментально и защищен авторским свидетельством (А.с.493615).

8. Уточнена методика расчета исполнительных размеров пуансонов и рекомендованы величины конструктивных и технологических параметров штампа и обрабатываемой детали, направленные на повышение точности обработки и размерной стойкости штампов. Оценка степени влияния неравномерности припуска на точность расположения отверстий позволяет сделать вывод о ненужности операции предварительного калибрования.

9. Ряд разработанных рекомендаций внедрены на Челябинском и Угличском часовых заводах, что повысило качественные показатели технологического процесса изготовления платин и мостов, уровень взаимозаменяемости, размерную стойкость штампов и дало экономический эффект. Внедрение оформлено актами. Годовой экономический эффект по Челябинскому часовому заводу составил 21,5 тыс. рублей, а ожидаемый по часовой промышленности составит 250 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах:

1. Манаков Ю.А. Экспериментальное определение влияния величины припуска и его неравномерности на точность расположения отверстий при штамповой калибровке. - Часы и часовые механизмы. М., 1973. Труды НИИЧАСПром, вып.13, с.129-131.

2. Манаков Ю.А. Влияние технологических операций на точность расположения ранее прокалиброванных отверстий. - Конструирование и производство радиоаппаратуры. Челябинск, 1973, Сб. научных трудов ЧПИ № 117, с.141-146.

3. Манаков Ю.А., Шишков Б.И. Влияние некоторых конструктивно-технологических факторов на точность калибрования отверстий в платинах и мостах. - Всесоюзная научно-техническая конференция "Современное состояние и перспективы развития приборов времени и технология их производства". Тезисы докладов. М., 1975.

4. Шишков Б.И., Манаков Ю.А. Точность диаметральных размеров отверстий при калибровании в штампе. - Проблемы повышения надежности и качества приборов времени. М., 1975. Труды НИИЧАСПром, вып.18, с.96-99.

5. А.с. 493615 (СССР). Способ калибровки отверстий деталей штамповкой. /Ю.А.Манаков, Б.И.Шишков, Л.В.Зебург и др. - Заявл. 22.05.72, № 1786909/25-28; Опубл. в Б.И., 1975, № 44.

6. Манаков Ю.А., Шишков Б.И. Влияние радиуса округления режущей кромки пуансона на усадку отверстий при калибровании. - Исследование и проектирование гироскопических приборов и их элементов. Челябинск, 1976. Сб. научных трудов ЧПИ № 189, с.160-165.

7. Манаков Ю.А., Шишков Б.И. Влияние некоторых конструктивно-технологических факторов на точность калибрования отверстий в платинах и мостах. - Состояние и тенденции развития приборов времени и технология их производства. М., 1976. Труды НИИЧАСПром, вып.21, с.111-114.