

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Описана реализация комплексного метода решения задачи совершенствования технологической оснастки процессов финишной обработки деталей гидравлического привода металлургических машин.

Описано реалізацію комплексного методу рішення задачі вдосконалення технологічної оснастки процесів фінішної обробки деталей гідравлічного приводу металургійних машин.

Realization of a complex method of the decision of a task of perfection of industrial equipment of processes of finishing processing of details of a hydraulic drive of metallurgical machines is described.

1. Постановка задачи

Характерной особенностью решения прикладных задач является комплексный подход, который предполагает достижение конечного практического результата путем последовательного выполнения взаимосвязанных этапов (при этом каждый последующий этап опирается на результаты предыдущего).

Основными этапами этой последовательности для машиностроения являются:

- целеполагание;
- математическое моделирование;
- разработка конструкторских и технологических предложений;
- оптимизация конструктивно-технологических параметров;
- экспериментальная проверка;
- внедрение оптимальных конструктивно-технологических решений.

Каждый из этапов состоит из соответствующих частей (подэтапов).

Например, математическое моделирование включает:

- целеполагание;
- идеализацию;
- формализацию;
- идентификацию;
- проверку адекватности.

Вопросы взаимной увязки и согласования различных этапов имеют актуальное теоретическое и практическое значение.

Рассмотрим особенности реализации комплексного подхода на примере совершенствования технологической оснастки процессов финишной обработки деталей гидравлического привода металлургических машин [1, 2]. Многие элементы гидравлических машин и аппаратуры содержат цилинд-

рические прецизионные поверхности, окончательные показатели которых получают доводкой.

2. Реализация метода

Целеполагание. Основной целью всего комплекса работ является обеспечение стабильного получения параметров обрабатываемых деталей металлургических машин, что обусловит повышение качества машин. Результаты обработки зависят от многих факторов, в том числе от технологической оснастки, совершенствование которой является частной целью работ.

Математическое моделирование

Математическое моделирование выполняется для определения основных направлений совершенствования технологической оснастки (ниже описаны этапы создания математической модели) и оптимизации ее конструктивно-технологических параметров.

Целеполагание. Целью математического моделирования является создание математических моделей, учитывающих основные факторы, влияющие на результаты использования оснастки, и применение моделей для формулирования предложений по усовершенствованию оснастки.

Идеализация. Идеализация (упрощение) производится путем анализа влияния различных факторов и обоснованного исключения из рассмотрения малозначащих факторов.

Для финишной обработки глубоких прецизионных отверстий разработано новое устройство [4] с разжимным притиром, рабочие поверхности которого перемещаются в радиальном направлении, сохраняя параллельность самим себе и геометрической оси притира.

В качестве расчетной схемы разжимного притира выбран стержень переменной жесткости (рис. 1).

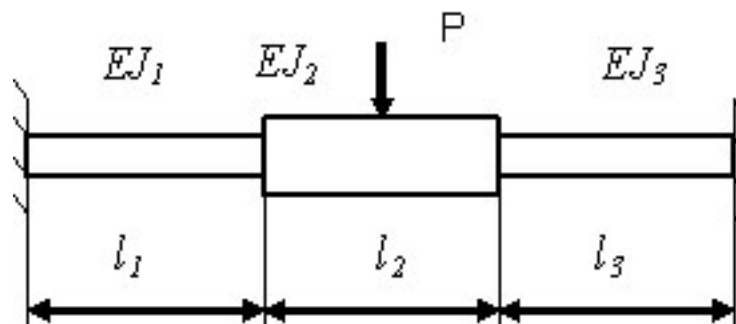


Рисунок 1 - Расчетная схема разжимного притира

$$l_1 = l_3; EJ_1 = EJ_3. \quad (1)$$

Разжимающая сила P приложена в середине второго участка. Положительные направления перемещения u , угла поворота θ , изгибающего момента M , перерезывающей силы Q указаны на рис. 2.

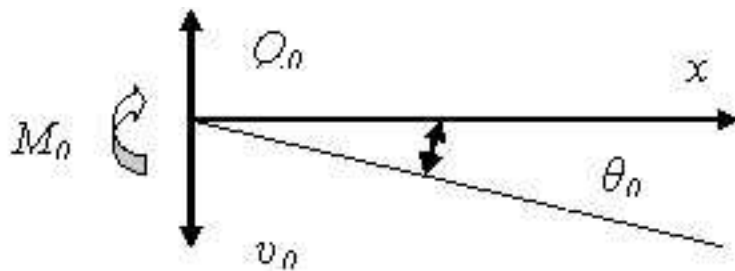


Рисунок 2 - Основные переменные модели разжимного притира

Процесс доводки упрощенно можно рассматривать как контактное взаимодействие деталей пары инструмент-деталь (рис. 3), которое может быть описано универсальной математической моделью, основанной на модели элементарного единичного акта контактного взаимодействия [8]. Модель включает четыре блока, описывающие свойства контактирующих поверхностей, кинематические и динамические особенности взаимодействия, величину съема при обработке и изменение свойств поверхностей после взаимодействия. Многократное воспроизведение единичных актов позволяет оценить взаимодействие при финишной обработке во времени [8]. При этом параметры поверхностей и условий взаимодействия определяются как реализации случайных величин (как правило, с нормальным законом распределения вероятностей) в процессе имитационных экспериментов с помощью ЭВМ.

Формализация

ММ процесса деформации притира построена с использованием метода начальных параметров, согласно которому при известных начальных значениях перемещения v_0 , угла поворота θ_0 , изгибающего момента M_0 и перерезывающей силы Q_0 можно определить текущие значения v , θ , M , Q в любом сечении данного участка:

$$\begin{aligned} g(x) &= g_0 + \theta_0 x - \frac{M_0 x^2}{2! EJ_1} - \frac{Q_0 x^3}{3! EJ_1}, \\ \theta(x) &= \theta_0 - \frac{M_0 x}{EJ_1} - \frac{Q_0 x^2}{2! EJ_1}, \\ M(x) &= M_0 + Q_0 x, \quad Q(x) = Q_0. \end{aligned} \tag{2}$$

Для характеристики прямолинейности образующей притира можно использовать безразмерное отношение разницы прогибов под силой и в начале второго участка к максимальному прогибу (прогибу под силой)

$$T = \frac{[g((\ell - 2\ell_1)/2) - g_1(\ell_1)]}{g((\ell - 2\ell_1)/2)} \tag{3}$$

В основе математической модели, позволяющей оценивать величину съема материала [8], лежит модель Герца, определяющая значения максимального сближения X_{\max} с учетом деформирования пропорционального

твердости контактирующих поверхностей (рис. 3) в виде сферических сегментов с радиусами R_1 и R_2 по формуле:

$$X_{\max} = \left(\frac{5mV}{4\beta}\right)^{2/5}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{2E_1E_2}{3E_1(1-\mu_2^2) + E_2(1-\mu_1^2)} \sqrt{\frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}} \quad (5)$$

где m – приведенная масса контактирующих поверхностей;

E_1 и E_2 , μ_1 и μ_2 - модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов контактирующих поверхностей, соответственно.

Оценкой величины износа сферического элемента является объем шарового сегмента, имеющего высоту стрелки, равную половине величины деформации элемента при контактном взаимодействии

$$G = \frac{\pi}{12}(4X_{\max}^3 + 6R_{1,2}X_{\max}^2) \quad (6)$$

Выходные переменные ММ при достаточно большом (не менее 100) количестве реализаций являются случайными величинами, имеющими нормальный закон распределения вероятностей, что соответствует общим положениям математической статистики.

Идентификация

Запишем систему (2) с учетом начальных условий

$$\begin{aligned} \vartheta_0 &= 0; \theta_0 = 0; Q = -\frac{P}{2} \\ \vartheta(x) &= -\frac{M_0x^2}{2!EJ_1} - \frac{Px^3}{2 \cdot 3!EJ_1}, \\ Q(x) &= \frac{P}{2}, \\ \theta(x) &= -\frac{M_0x}{EJ_1} - \frac{Px^2}{2 \cdot 2!EJ_1}, \\ M(x) &= M_0 + \frac{Px}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Момент M_0 определяется из условия равенства нулю угла поворота θ под силой P :

$$M_0 = -\frac{P[4J_2\ell_1^2 + J_1(\ell - 2\ell_1)(\ell + 2\ell_1)]}{8[J_1(\ell - 2\ell_1) + J_2\ell_1]} \quad (8)$$

Для определения параметров закона распределения вероятностей съема материала детали и износа инструмента для доводки (притира) проводились имитационные эксперименты, в которых радиусы шаровых сегментов моделей двух поверхностей, относительная скорость поверхностей, а также твердости и плотности материалов контактирующих поверхностей задавались с помощью датчика псевдослучайных чисел нормального закона. В ре-

зультате проверки с помощью критерия Колмогорова-Смирнова установлено [9], что гипотеза о нормальной функции распределения вероятностей выходных переменных не может быть отвергнута (при уровне значимости 5%).

Значения основных переменных модели заданы в таблице 4.

Проверка адекватности

Проверка адекватности выполнена с помощью критерия [3] оценки для малых выборок. Сравнение (таблица 1) значений выходной переменной ММ и предельных значений выходной переменной оригинала подтверждает наличие адекватности.

Таблица 1

Варианты экспериментов	Выходная переменная модели	ξ_{\max}	ξ_{\min}
1	0.01	0.02412	0.00118
2	0.03	0.04412	0.01588
3	0.06	0.07824	0.03510
4	0.10	0.11823	0.07510
5	0.15	0.18887	0.11780

Для количественной оценки соответствия использован [7] интегральный (учитывающий две основные выходные переменные) показатель (9):

$$\Delta_{\Sigma} = \left(\left| \frac{R_z^{\circ} - R_z^p}{R_z^{\circ}} \right| + \left| \frac{G_n^{\circ} - G_n^p}{G_n^{\circ}} \right| \right) \cdot 100, \tag{9}$$

где R_z° и G_n° , R_z^p и G_n^p - величины шероховатости и съема, полученные при натурном и имитационном экспериментах, соответственно.

Сравнение значений показателя (9) с помощью критерия [3] проверки соответствия для малых выборок (таблица 2) подтверждает наличие адекватности.

Таблица 2.

Варианты экспериментов	Выходная переменная модели	ξ_{\max}	ξ_{\min}
1	2.99458	3.031	2.749
2	3.06402	3.101	2.819
3	2.23457	2.271	1.989
4	2.88934	2.921	2.639

Разработанные математические модели используются для определения оптимальных конструктивных особенностей и технологических условий применения оснастки для финишной обработки прецизионных отверстий деталей гидравлического привода металлургических машин.

Разработка конструкторских и технологических предложений

Для доводки глубоких (отношение длины к диаметру более 5) прецизионных цилиндрических отверстий (точность размеров на уровне 6-7 квалитетов, погрешность формы отверстий 1-3 мкм, шероховатость $R_a=0.16...0.02$ мкм) предложена [4] новая технологическая оснастка (рис. 4). В состав оснастки входят притир (инструмент) и механизм для разжима притира.

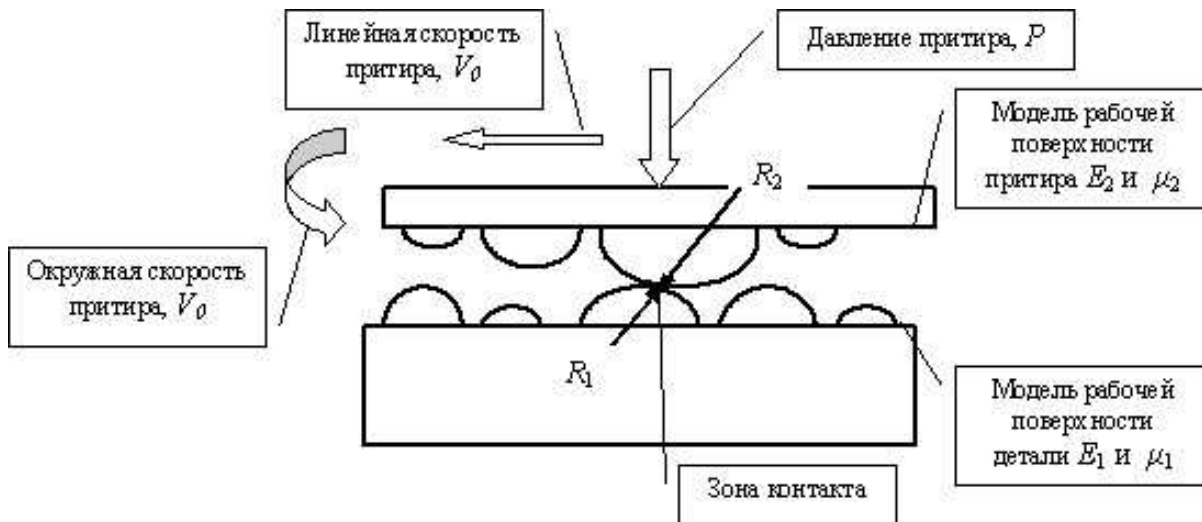


Рисунок 3 - Упрощенная схема контактного взаимодействия

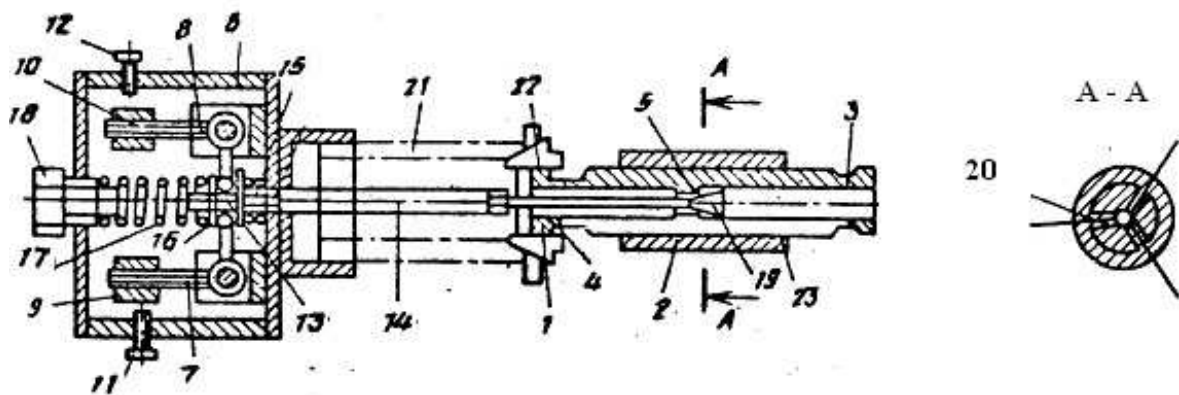


Рисунок 4 - Технологическая оснастка для доводки глубоких прецизионных отверстий: 1 – притир; 2 – рабочий участок притира; 3, 4 – деформируемые участки притира; 5 – выступ в притире; 6 – корпус; 7, 8 – поворотные рычаги; 9, 10 – грузы; 11, 12 – регулировочные ограничители; 13 – втулка; 14 – тяга; 15, 17 – пружины; 16 – выступ на тяге; 18 – регулировочный винт; 19 – конус тяги; 20 – продольные пазы; 21 – шпиндель; 22 – зажим; 23 – обрабатываемая деталь

Корпус механизма для разжима притира может быть установлен на шпинделе 21 токарного станка (не показан), а на противоположном конце шпинделя с помощью зажима 22 установлен притир 1. Обрабатываемая деталь 23 закреплена, например, на суппорте токарного станка. Перед началом работы в устройстве производят регулировку положения грузов 9, 10

на рычагах 7, 8, сжатие, пружин 15, 17 и ограничителей, исходя из условий обеспечения заданного усилия прижима. С помощью коробки скоростей токарного станка задается скорость вращения шпинделя с притиром.

При включении вращательного движения шпинделя технологическая оснастка приводится в рабочее состояние. Под действием сил инерции грузы 9, 10 перемещают рычаги 7, 8, доводя их до контакта с ограничителями 11, 12, при этом тяга 14 перемещается вдоль оси и конус 19 тяги 14 разжимает притир 1, создавая заданное усилие прижима к обрабатываемой детали 23, величина которого определяется положением регулировочных ограничителей 11, 12 и скоростью вращения шпинделя 21. Наличие ограничителей 11, 12 позволяет поддерживать постоянное усилие прижима, не зависящее от скорости вращения шпинделя 21, после приведения грузов 9, 10 в контакт с ограничителями 11, 12. Притир 1 приводится во вращение от шпинделя 21, от которого крутящий момент передается к притиру 1 с помощью зажима 22. Возвратно-поступательное движение детали обеспечивается механизмом продольной подачи с реверсированием хода или с помощью специальных приспособлений.

Абразивные частицы, закрепленные на рабочих поверхностях 2 притира 1, осуществляют резание обрабатываемой поверхности по всей длине отверстия со стабильными и одинаковыми условиями обработки. Благодаря предлагаемому соотношению жесткостей деформируемых 3, 4 и рабочей 2 частей притира 1 (жесткость рабочей части не менее, чем в 5 раз больше жесткости деформируемых частей) при разжипе притира 1 образующая рабочей части 2 имеет минимальные погрешности формы и положения, что в сочетании со стабильными условиями обработки обеспечивает высокое качество доводки отверстий.

Абразивные инструменты (притиры), которые применяются для доводки глубоких прецизионных отверстий, сами должны соответствовать высоким требованиям. Одним из основных требований к качеству притиров является их износостойкость, которая, в частности, определяется надежности закрепления абразивных частиц на режущей части притира. Для получения качественных притиров предложен [5] способ изготовления абразивных инструментов и технологическая оснастка для его реализации (рис. 5).

Способ получения абразивного слоя на рабочей поверхности инструмента заключается в том, что предварительно изготовленный (из стали или чугуна) корпус инструмента 1 (рис. 5) размещают в центрах приводного механизма (не показан) и придают ему вращательное движение. Искровое (разрядное) устройство 2 размещают на суппорте приводного механизма и придают ему поступательное движение, кинематически согласованное с вращением корпуса. В качестве электрода 3 разрядного устройства служит стержень цветного металла (например, медь). К электроду 3 и корпусу инструмента 1 подключают генератор электрических импульсов. При вращении корпуса инструмента 1 на рабочую поверхность 4 инструмента 1 наносят слой меди 5 электроискровым методом. В результате на поверхности

инструмента создается слой меди толщиной 20-30 мкм, имеющий развитый рельеф.

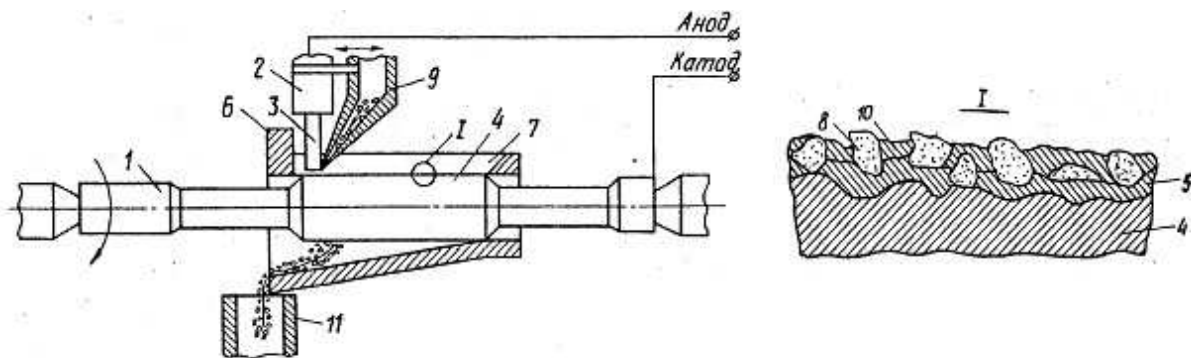


Рисунок 5 - Технологическая оснастка для изготовления притиров для доводки глубоких прецизионных отверстий: 1 – корпус притира; 2 – искровое устройство; 3 – электрод; 4 – рабочая поверхность притира; 5 – слой меди (первичный); 6 – обечайка; 7 – прорезь; 8 – абразивные частицы; 9 – подающее устройство; 10 – слой меди (вторичный); 11 – накопитель

После такой предварительной обработки на поверхность слоя меди подаются абразивные частицы (например, алмазные зерна), которые задерживаются во впадинах микрорельефа. Для этого рабочую поверхность 4 инструмента 1 размещают в обечайку 6 с продольной осевой прорезью 7, в межэлектродное пространство подают абразивные частицы 8 с помощью подающего устройства 9. Электроискровая обработка, осуществляемая одновременно с подачей алмазных зерен, обеспечивает их закрепление, создавая рабочий слой инструмента. Электрические разряды происходят прежде всего между ближайшими точками двух электродов, т.е. вершинами неровностей. При разряде происходят локальное повышение температуры и направленный перенос металла анода, который сопровождается интенсивными локальными деформациями поверхности катода (изготавливаемого инструмента). При этом разогретый материал выступов, окружающих впадины, где располагаются алмазные зерна, деформируется (сминается) и происходит закрепление («зачеканивание») зерен во впадинах. Незакрепленные абразивные частицы 8 по наклонной части обечайки 6 направляются в накопитель 11 для повторного использования. Многократное повторение таких элементарных актов приводит к получению абразивного слоя на всей поверхности изготавливаемого инструмента. Абразивные частицы в слое располагаются на нескольких уровнях, надежно закреплены и обеспечивают большую износостойкость инструмента (притира).

Оптимизация конструктивно-технологических параметров

Целью решения задачи оптимизации является определение конструктивных параметров технологической оснастки, обеспечивающих стабильное качество обработки глубоких прецизионных отверстий, которое может быть достигнуто, если образующая рабочей части притира остается прямолинейной и параллельной оси притира при обработке и в процессе регулирования

усилия прижима (рабочей части притира к обрабатываемой поверхности). Показателем степени непрямолинейности и непараллельности образующей рабочей части притира может служить (разд. 3.3) безразмерная величина, равная отношению разности прогибов в месте приложения силы $V(l-2 \cdot l_1)/2$ и в начале рабочего участка $V_1(l_1)$ к максимальному прогибу (под силой) $V(l-2 \cdot l_1)/2$, которую естественно принять в качестве критерия оптимизации.

$$T = \frac{[V(l-2 \cdot l_1)/2] - V_1(l_1)}{V(l-2 \cdot l_1)/2} \cdot 100\% \Rightarrow \min.$$

Для решения задачи оптимизации использованы [7] планируемые имитационные эксперименты (реализованные на ЭВМ) с математической моделью притира. В качестве плана проведения имитационных экспериментов принята j реплики вида 2^{5-2} с генерирующими соотношениями вида:

$$X_4 = X_1 \cdot X_3; X_5 = X_2 \cdot X_3,$$

где $X_1 \dots X_5$ – условные обозначения оптимизируемых факторов.

Для построения регрессионных полиномов проводились расчеты в соответствии с матрицей планирования для областей начальных значений параметров, приведенных в таблице 3. Построенные линейные регрессионной модели адекватны (при уровне значимости 5%) и имеют значимые коэффициенты регрессии. В качестве исходного варианта сочетаний факторов при оптимизации выбрана строка таблицы 3, соответствующая наименьшему значению критерия. Последовательная оптимизация проведена с установленными шагами (таблица 3). Сочетание значений параметров:

$$l_1=60 \text{ мм}; l_2=100 \text{ мм}; l_3=60 \text{ мм}; b=10 \text{ мм}; H_1=0.8 \text{ мм}; H_2=3.5 \text{ мм}$$

обеспечило значение критерия оптимизации 0.05%. Дальнейшее изменение параметров нецелесообразно, так как увеличение высоты рабочего участка ограничено размером обрабатываемого отверстия, а уменьшение толщины стенки H_1 деформируемого участка и увеличение длин l_2 и l_3 деформируемых участков невозможно из-за трудно реализуемого стабильного изготовления притиров с такими параметрами. Поэтому достигнутое сочетание параметров притира можно рассматривать как оптимальное (близкое к оптимальному).

Рассмотрим задачу оптимизации режимов финишной обработки цилиндрической детали. Материал детали – сталь 30ХЗВА, материал притира – серый чугун, абразив – алмазная паста.

В качестве критерия оптимизации примем величину съема материала с детали L_{dem} . Оптимизируемыми параметрами являются диаметр абразива d , давление притира P , линейная скорость V_l и окружная скорость V_o . При решении задачи необходимо учитывать ограничения на износ и шероховатости и притира и детали.

Таблиця 3

Уровни фак- торов	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	T, %
	l ₁ , мм	l ₂ , мм	b, мм	H ₁ , мм	H ₂ , мм	
Верхний	50	140	9	1,1	3,4	
Нижний	40	100	8	0,9	2,9	
Интервал	5	20	0,5	0,1	0,25	
Матрица пла- нирования	+	+	+	+	+	2,91
	+	-	+	+	-	58,7
	-	+	+	-	+	0,13
	-	-	+	-	-	5,18
	+	+	-	-	-	2,46
	-	+	-	+	-	0,37
	+	-	-	-	+	43,1
-	-	-	+	+	6,74	
Коэффициен- ты регрессии	-13,6	11,9	-1,94	2,16	-1,66	15,0
Шаг движения	5	-10	0,25	-0,02	0,025	
Движение по градиенту	40	140	9	0,9	3,4	0,13
	45	130	9,25	0,88	3,42	0,13
	50	120	9,5	0,86	3,44	0,10
	55	110	9,75	0,84	3,46	0,08
	60	100	10	0,82	3,48	0,05

Задача оптимизации формулируется в следующем виде:

$$L_{\text{дет}}(d, P, V_l, V_0) \rightarrow \max$$

$$L \leq 0,2 \text{ мкм};$$

$$R_a \leq 0,32 \text{ мкм (притир)};$$

$$R_a \leq 0,16 \text{ мкм},$$

где L – линейный износ притира в направлении, перпендикулярном рабочей поверхности притира;

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля поверхностей притира или деталей.

В таблице 4 приведены области начальных значений параметров для цилиндрической детали.

В качестве плана проведения имитационных экспериментов принята реплика вида 2^{4-1} с генерирующим соотношением вида

$$X_4 = X_1 X_2 X_3.$$

Здесь $X_1 - X_4$ – условные обозначения соответственно d, P, V_0, V_l .

В таблицах приведены результаты расчета съема материала с поверхностей цилиндрической детали для различных сочетаний параметров с помощью модели и коэффициенты линейной регрессии.

Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наибольшее влияние на критерий оптимизации оказывают диаметр абразива d и окружная скорость V_0 . Влияние силы прижима P и линейной скорости V_l мало и им можно пренебречь. Для увеличения съема детали требуется увеличить диаметр абразива d и окружную скорость V_0 .

Таблица 4

Факторы	d , мкм	P , Н	V_d , м/с	V_0 , м/с	$L_{дет}$, $г \cdot 10^{-3}$	L , мкм	R_a , мкм	R_a , мкм
Верхний	4	25	0,015	0,3			деталь	при- тир
Нижний	2	5	0,005	0,1				
Интервал	1	10	0,005	0,1				
Матрица планирования	+	+	+	+	0,923	2,12	0,17	0,28
	+	+	-	-	0,274	2,14	0,14	0,26
	+	-	+	-	0,946	2,09	0,17	0,24
	-	+	+	-	0,161	1,07	0,14	0,17
	+	-	-	+	0,713	1,11	0,16	0,20
	-	-	+	+	0,0597	0,99	0,09	0,22
	-	+	-	+	0,0024	0,97	0,08	0,23
-	-	-	-	0,0022	0,94	0,06	0,23	
Коэффициен- ты регрессии	2,63	- 0,35	0,315	1,10				
Движение по градиенту	2			0,3	0,161	1,07	0,114	0,17
	2,4			0,35	0,327	1,32	0,145	0,19
	2,8			0,4	0,524	1,54	0,152	0,21
	3,2			0,45	0,718	1,69	0,156	0,22
	3,6			0,5	0,889	1,78	0,160	0,23
	4			0,55	0,954	1,81	0,164	0,24

В качестве исходного варианта выберем строку таблицы 4 соответствующую наибольшему съему L (при выполнении всех ограничений). Такой строкой таблиц является 4-я строка. Результаты оптимизации приведены в таблице 4 для цилиндрической детали.

В результате решения задачи оптимизации установлено, что при доводке цилиндрических деталей оптимальное сочетание технологических параметров следующее (таблица 5):

Таблица 5

Диаметр абразива, мкм	3-3,6
Окружная скорость, м/с	0,4 – 0,5
Усилие прижима, Н	5 – 25
Линейная скорость, м/с	0,005 – 0,015

Ограничения на износ притира и величину шероховатости детали выполняются.

Экспериментальная проверка конструктивно-технологических решений

Целью экспериментов является проверка правильности результатов теоретических исследований и принятых конструктивных решений. В частности, основное значение для качества обработки прецизионных глубоких отверстий имеет обеспечение условий, при которых отклонение от прямолинейности образующей рабочей части притира минимально. Это достигается применением специальной конструкции притира [4], который имеет рабочую часть и симметрично расположенные деформируемые части, при-

чем жесткость деформируемых частей не менее, чем в 5-6 раз меньше жесткости рабочей части. При оптимизации теоретически было доказано, что минимальное отклонение от прямолинейности достигается именно при таком соотношении жесткостей.

Исследование выполнялось путем регулируемого деформирования опытного образца притира с помощью специальной экспериментальной установки (рис. 6), которая состоит из следующих основных частей. На подвижном основании 8, установлены прижимной центр 3 и делительная головка 4, служащая для поворота притира 1 на необходимый угол. В осевое отверстие притира введена тяга 5, жестко соединенная с регулировочным болтом 6, положение которого регистрируется с помощью индикатора 7. Величина деформации притира задавалась осевым перемещением болта 6 (при его повороте) и измерялась индикатором 2. Контроль деформаций каждого участка притира обеспечивался перемещением основания 8 относительно неподвижного индикатора 2.

Эксперименты выполнялись по следующей методике:

На каждой из 3-х частей притира выбрано одинаковое количество участков для измерения деформации на равном расстоянии друг от друга.

Притир устанавливается в экспериментальном устройстве таким образом, чтобы один из лепестков притира располагался в зоне измерения индикатора 2.

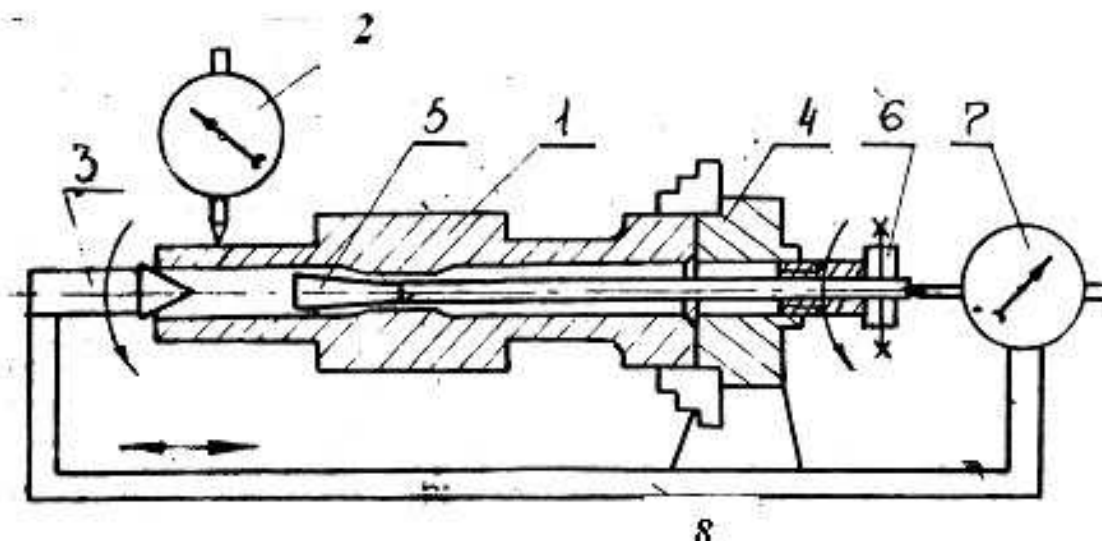


Рисунок 6 - Экспериментальная установка для измерения деформации притира

В отверстие притира вводится деформирующая часть тяги 5.

Задается начальное положение для измерений (с помощью подвижного основания 8 устанавливалась начальная точка осевого отсчета, а с помощью регулировочного болта 6 – нулевое положение индикатора 7, соответствующее недеформируемому состоянию притира).

Устанавливается (вращением болта 6) перемещение тяги 5, равное 1мм.

Измеряется деформация лепестка притира в выделенных точках с помощью индикатора 2 (при этом осевое перемещение притира изменяется с помощью подвижного основания 8). В каждой точке измерения повторяются трижды и усредняются.

Пункты 4-6 повторяются для всех лепестков притира.

По средним данным построены эпюры деформации лепестков притира при разных степенях его разжатия (рис. 7).

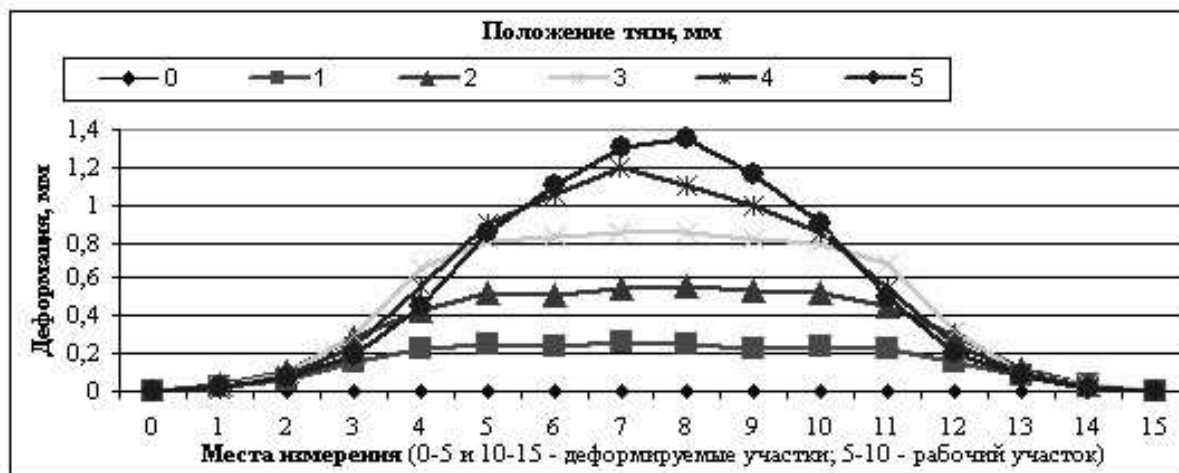


Рисунок 7 - Эпюры деформаций участков притира

Характер и соотношение степени деформации участков притира (рис. 7) подтверждают, что в основном деформации сосредоточены на первом и третьем участках; на втором участке деформации минимальны. Для количественной оценки степени деформации участков притира (как и ранее в разд. 5.1) выберем тангенс угла наклона касательной к деформированной образующей участка к оси притира. Значения тангенсов углов рассчитаны (таблица 6) для двух зон с максимальной интенсивностью деформации (рис.7) на каждом участке.

Таблица 6

Сечение мм	I участок		II участок		III участок	
	1	2	1	2	1	2
1	0,048	0,095	0,022	0,019	0,089	0,060
2	0,114	0,220	0,024	0,022	0,157	0,195
3	0,183	0,230	0,010	0,011	0,191	0,201
4	0,190	0,231	0,029	0,032	0,201	0,228
5	0,242	0,301	0,047	0,098	0,207	0,220

Значения тангенсов угла наклона на рабочем участке в 5-10 раз (таблица 6.2) меньше соответствующих величин на деформируемых участках. Это означает, что наиболее интенсивная деформация происходит на деформируемых участках, а рабочая часть деформируется меньше. Однако при больших величинах осевого смещения разжимающей тяги степень деформации рабочей части приближается к степени деформации первого и третьего участков (меньше в 2 раза). Поэтому следует ограничивать рабочий диапазон осевых смещений разжимающей тяги величиной не более 3 мм.

Экспериментально установлено, что характер деформации притира соответствует результатам, полученным теоретически, и, следовательно, будет обеспечивать качественную обработку глубоких прецизионных отверстий.

Для проверки работоспособности притира и устройства для доводки глубоких прецизионных отверстий (см. разд. 4.2) проведена обработка партии (10 шт.) деталей гидравлического распределителя. Контроль шероховатости поверхности, а также погрешности формы обработанного отверстия (нецилиндричности и овальности), выполненный с помощью специального измерительного устройства MAUSER, показал, что технологическая оснастка обеспечивает стабильное получение параметров отверстий в соответствии с требованиями чертежа ($R_a = 0.16$ мкм, погрешность формы 2 мкм).

Внедрение конструктивно-технологических решений

Использование разработанной технологической оснастки и условий ее применения на машиностроительном предприятии (Южном машиностроительном заводе) при изготовлении прецизионных деталей гидравлической аппаратуры позволило повысить стабильность получения необходимых характеристик обработки.

3. Выводы

Комплексный подход к решению технических и технологических задач включает последовательно выполняемые действия:

- целеполагание;
- математическое моделирование;
- разработка конструкторских и технологических предложений;
- оптимизация конструктивно-технологических параметров;
- экспериментальная проверка;
- внедрение оптимальных конструктивно-технологических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Праздников А.В. Гидропривод в металлургии. – М.: Металлургия, 1973. – 336с.
2. Ясев А.Г. Конструктивно-технологические особенности деталей гидромашин // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск: - 2002. - №13, том 3. - с. 159-162.
3. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. - Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. - 237 с.
4. А. с. № 1458183 СССР, МКИ В 24 В 33/08. Устройство для обработки прецизионных отверстий / В.Н. Морозенко, А.Г. Ясев, Е.Л. Клячко, Т.Ю. Радзиховская, В.А. Бойко, В.И. Нечипоренко, Е.И. Каменский (СССР). - №4153161/ 31-08; Заявлено 15.10.88; Оpubл. 15.02.89, Бюл. №6. - 3 с.
5. А. с. № 1611723 СССР, МКИ В 24 D 18/00. Способ изготовления абразивного инструмента / В.Н. Морозенко, А.Г. Ясев, Н.А. Мололкин (СССР). - №4496195/31-08; Заявлено 04.07.88; Оpubл. 07.12.90, Бюл. №45. - 3 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В де-

сяти томах. - Т. 8: «Оптимизация технологических процессов в машиностроении» - Одесса: ОНПУ, 2004. - 509 с.

7. Оптимизация параметров притира для доводки глубоких прецизионных отверстий / В.Н. Морозенко, А.Г. Ясев, Т.Ю. Радзиховская, Н.А. Молоткин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1989. - №3. - С. 142-146.
8. Имитационное моделирование процесса обработки потоком абразивных частиц / А.Е. Проволоцкий, А.Г. Ясев, В.С. Гришин, И.А. Маринченко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1987. - №4. - С. 112-117.
9. Ясев А.Г. Прогнозирование надежности и оптимизация параметров элементов гидропривода металлургических машин // Системные технологии. -2002. - №6 (23).- С. 140-147.