

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ПРИ БУРЕНИИ БЕТОНА ПЕРФОРАТОРАМИ

Статья посвящена проблеме оптимизации параметров перфораторов при бурении горных пород и строительных материалов. Определено оптимальное соотношение между кинетическими энергиями поступательного и вращательного движения бура при бурении бетона с целью уменьшения затрат энергии для разрушения твердого хрупкого материала.

Ключевые слова: перфоратор, напряжения сжатия и растяжения, кинетическая энергия, разрушение бетона.

Различные вопросы динамики машин, технология строительных работ связаны с анализом поведения конструкции перфоратора при интенсивных динамических нагрузках. Так, например, буровой инструмент производит серию ударов по забою, и в то же время сам испытывает силовое воздействие той же величины. Если в бетоне желательно получить разрушение более определенной величины и характера, то для деталей и узлов ударной машины нельзя превышать допустимые напряжения прочности конструкционного материала. Наиболее простым способом является использование высокопрочных материалов, прочностные характеристики которых значительно превосходят уровень возникающих напряжений. Однако данный способ приводит к значительному завышению норм прочности, большому перерасходу сырья и материалов, удорожанию изделия, а также ко многим другим отрицательным факторам. Поэтому более приемлемым является другой путь, который позволяет найти оптимальные характеристики возникающих напряжений в бетоне, и, исходя из величин таких напряжений, произвести расчет конструкции перфоратора.

Как известно твердые хрупкие материалы строительных конструкций и горных пород имеют наибольшую прочность при формировании в них напряжений сжатия. Предел прочности для напряжений растяжения для таких материалов в несколько раз меньше предела прочности для напряжений сжатия. Таким образом, необходимо стремиться к формированию в призабойной зоне обрабатываемого материала, напряжений растяжения.

Такое напряженное состояние достигается путем использования удара с вращением, который реализуется в современных перфораторах. В данных машинах бур совершает два движения — поступательное и вращательное. В процессе удара в держателе инструмента совместно с буром происходит формирование двух типов волн — волны сжатия и волны кручения. Скорость распространения этих видов волн в среде различна и, в общем

случае, волна кручения отстанет от волны сжатия. Однако, принимая во внимание небольшую длину держателя инструмента и бура — 0,15–1 м и значительную скорость распространения ударных волн в стали — 3000–5000 м/с, запаздывание по времени между волнами сжатия и кручения будет мало. Данные типы ударных волн воздействуют на обрабатываемый материал практически одновременно. Используя принцип суперпозиции, будем рассматривать процессы распространения волн сжатия и кручения как независимые друг от друга.

В ходе ударного процесса бур совершает два вида движения — вращательное и поступательное. При этом каждая точка режущей части инструмента, за исключением точек находящихся на осевой линии, совершает движение по винтовой линии, аналогичное движению гайки по болту. Если данную пространственную винтовую линию развернуть на плоскости, получится треугольник, приведенный на рис. 1. Катетами этого треугольника являются линейная поступательная V и окружная V_T скорости точек режущей части бура. Таким образом, внедрение точек инструмента в бетон происходит под некоторым углом Θ , который изменяется в зависимости от отношения скоростей V и V_T . Определим оптимальный угол Θ , при котором скорость бурения бетона будет наибольшей. Обозначим данный оптимальный угол Θ как ρ .

Оптимальная величина угла ρ зависит от многих факторов — физико-механических свойств породы, угла приострения инструмента, степени затупления режущих граней инструмента и т.д. Поэтому определим данную величину для типового бура, выпускаемого промышленностью. Геометрические характеристики режущей части бура, используемого для бурения, приведены на рис. 2.

Анализируя рис. 1 и 2, можно отметить, что величина угла Θ в основном зависит от окружной скорости V_T , которая определяется местоположением исследуемой точки режущей части инструмента от его оси. Поэтому на оси инструмента величина

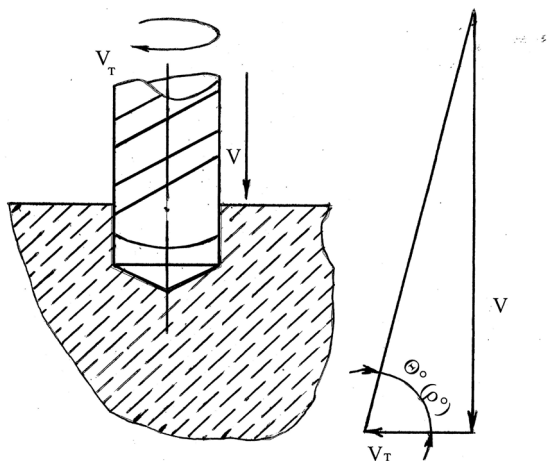


Рис. 1. Взаимодействие бура с бетоном в момент удара при ударно-вращательном бурении

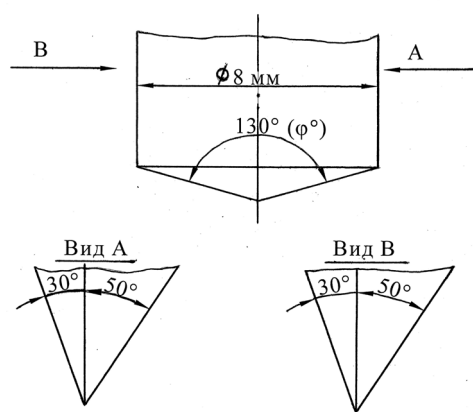


Рис. 2. Типовые геометрические характеристики режущей части бура

угла Θ составит $\Theta = 90^\circ$. По мере удаления от оси инструмента угол Θ будет уменьшаться до своего минимального значения, определяемого диаметром режущей части инструмента. Таким образом, величина угла Θ изменяется в некотором диапазоне. Как правило, при исследованиях при определении угла Θ окружную скорость V_T определяют для точки, отстоящей на $2/3$ радиуса бура от его оси.

Для получения постоянной величины угла Θ , не зависящей от местоположения исследуемой точки на режущей части бура, предлагается использовать энергетический подход. При данном подходе угол приложения нагрузки Θ определяется следующим выражением:

$$\operatorname{tg}(\Theta) = \frac{V}{V_T}, \quad (1)$$

Кинетическая энергия поступательного движения бура T_{post} определяется выражением:

$$T_{\text{post}} = \frac{mV^2}{2}, \quad (2)$$

где m — масса бура и держателя инструмента.

Перепишем уравнение (2):

$$V = \sqrt{\frac{2T_{\text{post}}}{m}}. \quad (3)$$

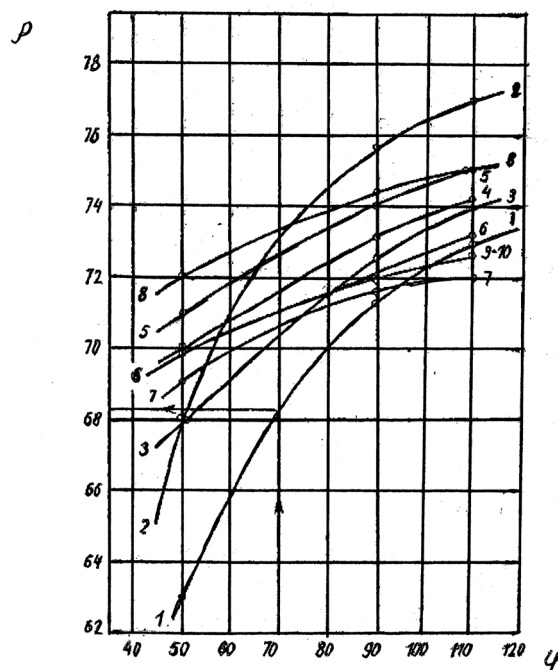


Рис. 3. Графики зависимости угла оптимального приложения нагрузки ρ от угла приострения инструмента φ для различных пород [5]

1 — алевролит, 2 — песчаник на кварцевом цементе, 3 — аргиллит, 4 — хлористо-серицитовый сланец, 5 — габбро, 6 — диабаз, 7 — известняк окремненный, 8 — гранит, 9 — песчаник мелкозернистый и известняк.

Кинетическая энергия вращательного движения бура $T_{\text{вр}}$ определяется выражением:

$$T_{\text{вр}} = \frac{J\omega^2}{2}, \quad (4)$$

где J — момент инерции бура и держателя инструмента относительно оси вращения; ω — угловая скорость вращения бура и держателя инструмента.

Введем допущение о том, что бур и держатель инструмента представляют собой сплошной цилиндр радиуса r и массы m . Для большего удобства будем использовать не радиус бура r , а его диаметр $d = d = 2r$. Тогда момент инерции бура и держателя инструмента относительно оси вращения равен:

$$J = \frac{mr^2}{2} = \frac{md^2}{8}, \quad (5)$$

Окружная скорость V_T на режущей кромке бура равна:

$$V_T = \frac{2r\omega}{3}. \quad (6)$$

Определим угловую скорость вращения бура и держателя инструмента — ω :

$$\omega = \frac{3V_T}{2r}. \quad (7)$$

Перепишем уравнение (4) с учетом (7):

$$\omega = \sqrt{\frac{2T_{\text{вр}}}{J}} = \frac{3V_T}{2r}. \quad (8)$$

$$V_T = \frac{2r}{3} \sqrt{\frac{2T_{vr}}{J}} = \sqrt{\frac{8r^2 T_{vr}}{9J}} = \sqrt{\frac{16r^2 T_{vr}}{9mr^2}} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{T_{vr}}{m}}. \quad (9)$$

Преобразуем выражение (1):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\Theta) &= \frac{V}{V_T} = \sqrt{\frac{2T_{post}}{m}} \frac{3}{4} \sqrt{\frac{m}{T_{vr}}} = \\ &= \frac{3}{4} \sqrt{\frac{2T_{post}}{T_{vr}}} = 1,06 \sqrt{\frac{T_{post}}{T_{vr}}}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Theta = \arctg(1,06 \sqrt{\frac{T_{post}}{T_{vr}}}). \quad (11)$$

Из выражения (10) следует, что можно записать с точностью до 6 % следующее уравнение:

$$\frac{V}{V_T} = \sqrt{\frac{T_{post}}{T_{vr}}}. \quad (12)$$

Таким образом, энергетический подход к определению оптимальных параметров бурения горных пород и строительных материалов можно использовать в инженерной практике. Значения энергий T_{post} и T_{vr} достаточно легко определить для каждой конкретной модели перфоратора и используемого диаметра бура.

Рассмотрим, при каких условиях формируется оптимальное сочетание поступательной и вращательной энергий инструмента, при котором работа разрушения породы минимальна, а размеры частиц отделенной породы — максимальны.

Задачей определения оптимальных углов приложения нагрузки при бурении горных пород и строительных материалов занимались значительное количество исследователей, например [1–4]. Обратим свое внимание на работу Молчанова В. И., Матросова В. М. [5]. В данной работе изучалась зависимость между углом оптимального приложения ударной нагрузки ρ и всех возможных углов приострения инструмента ϕ для различных пород, рис. 3. В данной публикации рассмотрен переход от ударно-вращательного бурения (соотношения между осевой и окружной скоростями резца) к косому удару (определению угла оптимального приложения силы ρ). Экспериментальные работы проводились на копре, который имел поворотную площадку, изменяющую угол встречи инструмента со шлифованной поверхностью образца от 90° (нормальный удар) до 50° . При постоянной энергии удара определялся объем разрушения породы за один удар. Выброшенная часть заполнялась пластилином, который затем помещался в микромензурку для измерения объема. Испытанию подвергались образцы различных пород, предварительная обработка поверхности которых была по возможности одинаковой (шлифовка). Результаты экспериментов приведены на рис. 3, [5]. Используем результаты работы [5] для оценки угла оптимального приложения нагрузки ρ .

Для инструмента, приведенного на рис. 2, угол приострения инструмента ϕ составляет $\phi = 80^\circ$. С учетом графика на рис. 3 диапазон изменения

оптимального угла ρ составит от $\rho = 70^\circ$ для алевролита до $\rho = 74,5^\circ$ для песчаника на кварцевом цементе. Основным строительным материалом — бетон, состоит из смеси песка, цемента и гранита. Таким образом, данная структура сопоставима по своим параметрам с образцами гранита и песчаника мелкозернистого. Исходя из рис. 3, оптимальный угол приложения нагрузки ρ изменяется от $\rho = 71,6^\circ$ для песчаника мелкозернистого до $\rho = 73,9^\circ$ для гранита. Таким образом, угол приложения нагрузки Θ , формируемый перфоратором, должен находиться в пределах от $\Theta = 71,6^\circ$ до $\Theta = 73,9^\circ$ для обеспечения оптимального бурения бетона.

Из выражения (11) определим оптимальное соотношение между кинетическими энергиями поступательного и вращательного движения бура и держателя инструмента.

$$71,6^\circ \leq \arctg(1,06 \sqrt{\frac{T_{post}}{T_{vr}}}) \leq 73,9^\circ, \quad (13)$$

$$8,07T_{vr} \leq T_{post} \leq 10,63T_{vr}. \quad (14)$$

Таким образом, для выполнения условия по оптимизации бурения бетона кинетическая энергия поступательного движения бура должна быть в 8–10 раз больше, чем кинетическая энергия его вращательного движения. Это требование необходимо учитывать при проектировании ударного привода перфораторов, выпускаемых в настоящее время промышленностью.

Библиографический список

1. Чернявский, Д. И. Определение параметров удара в машинах ударного действия : моногр. / Д. И. Чернявский ; ОмГТУ. — Омск : ОмГТУ, 2009. — Ч. 1. — 2009. — 135 с.
2. Александров, Е. В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е. В. Александров, В. Б. Соколинский. — М. : Наука, 1969. — 201 с.
3. Чернявский, Д. И. Определение параметров удара в машинах ударного действия : моногр. / Д. И. Чернявский ; ОмГТУ. — Омск : ОмГТУ, 2009. — Ч. 2. — 2010. — 123 с.
4. Чернявский, Д. И. Перфоратор ударно-вращательного действия / Д. И. Чернявский // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2004. — № 5. — С. 85–90.
5. Молчанов, В. И. К выбору исходных параметров бурильных машин вибрационно-вращательного действия / В. И. Молчанов, В. М. Матросов // Разведка и охрана недр. — 1959. — № 2. — С. 25–31.

ЧЕРНЯВСКИЙ Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой менеджмента.

ЧЕРНЯВСКАЯ Дарья Дмитриевна, магистрант гр. ДПМ-513 факультета транспорта нефти и газа. Адрес для переписки: maneg1@omgtu.ru

Статья поступила в редакцию 06.10.2014 г.

© Д. И. Чернявский, Д. Д. Чернявская

ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены основные проблемы эффективного внедрения инструментов бережливого производства в российских промышленных организациях. Особое внимание уделяется двум аспектам: комплексным технологиям, формирующим у работающих философию бережливого производства, и методическому подходу обоснования финансовых результатов при внедрении инструментов бережливого производства.

Ключевые слова: бережливое производство, структурные подразделения организации, интегральные и удельные показатели, модель процесса, параметры ремонтного производства.

Одной из самых востребованных [1–4] концепций в организации успешного менеджмента в различных сферах деятельности в настоящее время является бережливое производство (рис. 1).

Оценка эффекта от внедрения бережливого производства в структурных подразделениях организации должна выполняться с учетом планируемого устранения потерь с применением конкретных количественных значений объемных и финансово-экономических показателей.

Фактический эффект от внедрения бережливого производства для структурного подразделения в целом и отдельных производственных участков, цехов структурного подразделения должен оцениваться в виде динамики интегральных и удельных показателей. Интегральными показателями являются [5] объем выполненных работ и суммарные эксплуатационные затраты. Удельными показателями — объем выполненных работ, приходящийся на одного сотрудника (производительность труда); эксплуатационные затраты на выполнение единичной работы; эксплуатационные затраты на содержание помещений, оборудования, инструментов, оснастки для одного производственного участка, цеха; средняя продолжительность полного производственного цикла выполнения работ.

Одним из методов определения зависимостей в системе является модель «черного ящика», т.е. такой [6], внутреннее устройство и механизм работы которой являются сложными или неизвестными, но в рамках рассматриваемой задачи неважны.

В данном случае рассматриваемая система, которую представляют как «черный ящик», имеет [6] некий «вход» для ввода информации и «выход» для отображения результатов работы, при этом происходящие в ходе работы процессы визуально не определяются. Тогда предполагается [7], что состояние выходов функционально зависит от состояния

входов. Например, для колёсного цеха в качестве входных параметров можно принять трудовые ресурсы, затраты на энергоснабжение, материальные затраты, а в качестве выхода — отремонтированные (или освидетельствованные) колёсные пары (рис. 2).

Задача сводится к поиску максимума функции F_n , зависящей от одной переменной i — количества контролируемых параметров

$$F_n = Y_n - Z_n, \quad (1)$$

где Y_n — суммарный эффект и Z_n — суммарные затраты образуются за счёт охвата наибольшего количества отказов Y

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2)$$

$$Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (3)$$

где Y_i — удельный эффект на контроль i -го параметра, а Z_i — удельные затраты на контроль i -го параметра.

Так как функция эффективности F_n , зависящая от дискретно изменяющегося аргумента i ($i = 1, 2, \dots, n$), является так же дискретной, то условие максимума имеет вид

$$\frac{\partial F_i}{\partial i} \geq 0, \quad (4)$$

где ∂F_i — единичное приращение эффективности; ∂_i — единичное приращение числа контролируемых параметров.

Поставленную задачу можно решить графическим путём, выразив Z_i в процентах

$$Z_i = \frac{100\%}{n}, \quad (5)$$



Рис. 1. Структура подхода бережливого производства (обведена пунктиром)

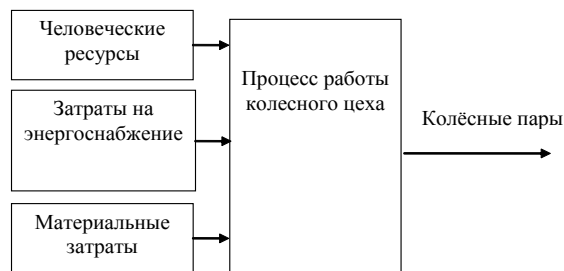


Рис. 2. Блок-схема модели процесса работы колёсного цеха

	A	B	C	D	E	F
		Суммарные затраты времени работников, ч	Фонд оплаты труда, руб.	Затраты материалов, руб.	Затраты на энергию, руб.	Себестоимость ремонта, руб.
1						
2	Июль 2013 года	31,54	4955	52727	3146	60288
3	Август 2013 года	32,18	5068	53431	3276	62354
4	Сентябрь 2013 года	32,25	5079	53656	3587	62400
5	Октябрь 2013 года	31,46	4941	53131	3654	61546
6	Ноябрь 2013 года	32,08	5046	54136	3445	61766
7	Декабрь 2013 года	31,93	5016	52956	3264	61645

Рис. 3. Окно ввода данных в таблицу Microsoft Excel

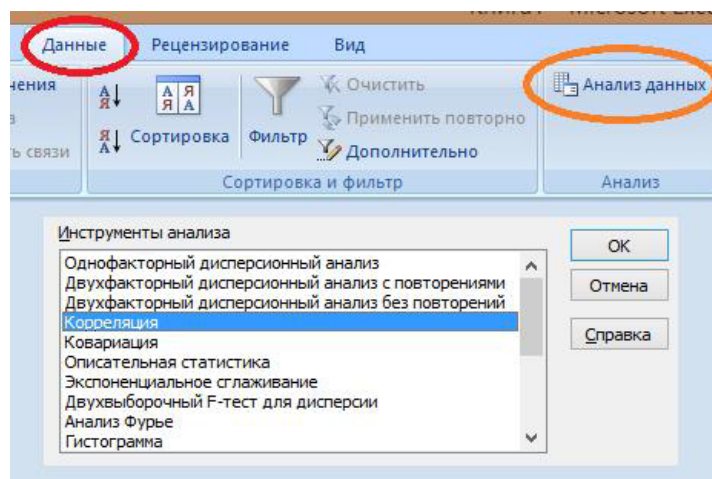


Рис. 4. Окно вызова функции «Корреляция»

где n — наибольшее число контролируемых параметров.

По формулам (1–3) рассчитываются численные значения и строятся зависимости Y_n , Z_n и F_n от количества контролируемых параметров i . Анализ данной зависимости позволяет определить минимальное число контролируемых параметров n_{min} .

Для оценки существенности связей вычисляется матрица коэффициентов корреляции вида [8], содержащая $r(x_i, x_j)$ — коэффициенты парной корреляции между параметрами x_i и x_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Данный коэффициент определяется из следующего выражения

$$r(x_i, x_j) = \frac{N \sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} - \sum_{k=1}^N x_{ik} \cdot \sum_{k=1}^N x_{jk}}{\sqrt{\left(N \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 - \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 \right) \left(N \sum_{k=1}^N x_{jk}^2 - \sum_{k=1}^N x_{jk}^2 \right)}} \quad (6)$$

где N — объём выборки наблюдений; x_{ik} , x_{jk} — значение i -го и j -го параметров при k -ом наблюдении.

Общий вид корреляционной матрицы имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1 & r(x_1, x_2) & \dots & r(x_1, x_j) & \dots & r(x_1, x_n) \\ r(x_2, x_1) & 1 & \dots & r(x_2, x_j) & \dots & r(x_2, x_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r(x_i, x_1) & r(x_i, x_2) & \dots & r(x_i, x_j) & \dots & r(x_i, x_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r(x_n, x_1) & r(x_n, x_2) & \dots & r(x_n, x_j) & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Связь считается существенной, если существует статистическая зависимость коэффициента $r(x_i, x_j)$. Расчёт корреляционной матрицы производится на ЭВМ.

Для определения значимости связи между параметрами технологического процесса рассчитаем

Исходные данные для расчета корреляционной матрицы

Дата \ Параметр	Суммарные затраты времени работников, ч	Фонд оплаты труда, руб.	Затраты на материалы, руб.	Затраты на энергию, руб.	Себестоимость ремонта, руб.
Июль 2013 г.	31,54	4955	51727	3546	60288
Август 2013 г.	32,18	5068	53431	3276	62354
Сентябрь 2013 г.	32,25	5079	52656	3387	62400
Октябрь 2013 г.	31,46	4941	54731	3654	61546
Ноябрь 2013 г.	32,08	5046	52136	3445	61766
Декабрь 2013 г.	31,93	5016	51956	3864	61645

	A	B	C	D	E	F
1		Суммарные затраты времени работников, ч	Фонд оплаты труда, руб.	Затраты на материалы, руб.	Затраты на энергию, руб.	Себестоимость ремонта, руб.
2	Июль 2013 года	31,54	4955	52727	3146	60288
3	Август 2013 года	32,18	5068	53431	3276	62354
4	Сентябрь 2013 года	32,25	5079	53656	3587	62400
5	Октябрь 2013 года	31,46	4941	53131	3654	61546
6	Ноябрь 2013 года	32,08	5046	54136	3445	61766
7	Декабрь 2013 года	31,93	5016	52956	3264	61645
8						
9		Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5
10	Столбец 1	1				
11	Столбец 2	0,998561947	1			
12	Столбец 3	0,679844602	0,683021915	1		
13	Столбец 4	0,043813358	0,054531318	0,46636868	1	
14	Столбец 5	0,794238325	0,799310349	0,638749168	0,494695308	1

Рис. 5. Окно результатов расчета корреляционной матрицы

коэффициенты корреляционной матрицы. Полученные коэффициенты позволят отсеять параметры, имеющие наименьшее влияние на исследуемый процесс.

Для упрощения процесса расчета коэффициентов дальнейшие вычисления предложено проводить на персональных ЭВМ с помощью программного обеспечения Microsoft Excel [9].

Для этого необходимо внести данные из табл. 1 в рабочее пространство программы (рис. 3).

Далее в окне программы необходимо открыть вкладку «Данные» и на панели «Анализ» нажать кнопку «Анализ данных». В открывшемся диалоговом окне выбрать инструмент «Корреляция» (рис. 4).

В открывшемся окне вводятся диапазоны ячеек. В поле «Входной интервал» в данном случае необходимо задать диапазон ячеек B2-E7, а в поле «Выходной интервал» — ячейку, с которой начнется вывод таблицы с результатом, например, A9 (рис. 5).

Следующим шагом необходимо произвести анализ полученных результатов. Таблица, полученная в результате расчета коэффициентов корреляции, представляет собой симметричную матрицу, значения которой одинаковы относительно «диагонали», образуемой ячейками со значением, равным 1. В связи с этим ячейки выше «диагонали» не заполняются. На пересечении каждой строки и столбца находится коэффициент корреляции между соответствующими параметрами. Ячейки выходного диапазона, имеющие совпадающие координаты строк и столбцов, содержат значение 1, так как каждый столбец во входном диапазоне полностью коррелируется с самим собой. Любое значение коэффициента корреляции должно находиться в диапазоне $-1...+1$ включительно и чем ближе значение к крайнему, тем сильнее наблюдается зависимость.

Связь считается существенной, если имеется статистическая значимость коэффициента $r(x_i, x_j)$.

Значимость коэффициентов корреляции можно проверить по t -критерию Стьюдента

$$\hat{t} = \frac{r(x_i, x_j)}{\bar{S}_r}, \quad (8)$$

где $\bar{S}_r$ — средняя квадратичная погрешность выборочного парного коэффициента корреляции.

Величина $\bar{S}_r$ определяется по следующему выражению

$$\bar{S}_r = \frac{1 - r(x_i, x_j)}{(N - 1)}, \quad (9)$$

где N — количество периодов наблюдения.

Для расчета данного критерия необходимо один из параметров выбрать как результативный y , а оставшиеся будут являться факторными показателями x_i . Для данного случая выберем в качестве результативного параметр «Себестоимость ремонта».

Подставив численные значения в формулы 1 и 2, получим численные значения t -критерия (табл. 2).

Далее по табличным значениям определяется критическое значение коэффициента Стьюдента. Определяющими параметрами при этом являются доверительная вероятность и число степеней

Значения критерия Стьюдента

Наименование параметра	Суммарные затраты времени работников, ч	Фонд оплаты труда, руб.	Затраты материалов, руб.	Затраты на энергию, руб.
Значение	19,30	19,91	8,84	4,90

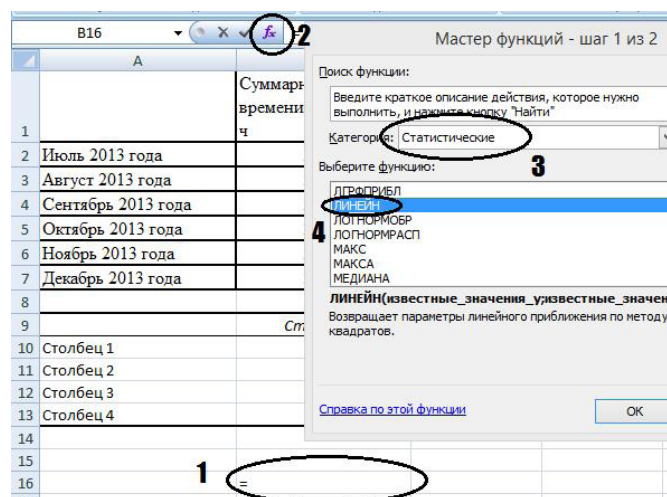


Рис. 6. Окно порядка действий при вызове функции «ЛИНЕЙН»

свободы. Первый параметр для экономических расчетов принимается 0,9. Число степеней свободы равно $N-1$, тогда критическое значение коэффициента Стьюдента принимается равным 2,57.

Поскольку фактические значения из табл. 2 во всех случаях выше критического, связь является надежной, а величина коэффициентов корреляции — значимой.

После сокращения количества параметров до минимума, необходимо на основании имеющейся статистики получить математическую модель исследуемого процесса. Для первого приближения рассматривается линейная модель, построенная на статистической функции «ЛИНЕЙН» *Microsoft Excel* [9], которая позволяет определить статистические характеристики методом наименьших квадратов и получить линейный многочлен для аппроксимирующей прямой линии. Уравнение для прямой линии имеет следующий вид

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4 + b, \quad (10)$$

где m — коэффициенты, соответствующие каждой независимой переменной x ; x_1 — значение параметра «Суммарные затраты времени работников»; x_2 — значение параметра «Фонд оплаты труда»; x_3 — значение параметра «Затраты материалов»; x_4 — значение параметра «Затраты на энергию»; b — постоянная.

В связи с тем, что параметры процесса имеют разные единицы измерения, необходимо провести нормирование, т.е. разделить каждое значение, относящееся к определенному параметру, на максимальное значение в этом столбце. После проведения нормирования необходимо в окне программы выбрать свободную ячейку и нажать кнопку «Вставить функцию». В открывшемся окне в категории

«Статистические» необходимо выбрать функцию «ЛИНЕЙН» (рис. 6).

В результате проделанных действий открывается окно «Аргументы функций». В поле «Известные_значения_y» вводятся значения результирующего показателя, т.е. в рассматриваемом случае это ячейки F2-F7, а в поле «Известные_значения_x» — факторные показатели, т.е. ячейки B2–B7.

После нажатия кнопки «ОК» в выбранной ячейке (B16) появится значение m_4 . Для получения оставшихся коэффициентов m_3 , m_2 , m_1 и b , в дополнение к первой, выделяются соседние четыре ячейки (C16–F16).

Далее необходимо нажать клавишу «F2», затем сочетание «Ctrl+Shift+Ввод». В результате в ячейках C16, D16, E16, F16 появятся рассчитываемые коэффициенты m_3 , m_2 , m_1 и b соответственно. Подставляя их в уравнение 3, получаем уравнение математической модели процесса полного освидетельствования колесной пары.

$$y = 0,68x_1 + 0,42x_2 + 0,38x_3 + 0,13x_4 - 0,15. \quad (11)$$

Данное уравнение отражает зависимость параметра «Себестоимость ремонта» от четырех переменных.

Из уравнения следует, что себестоимость ремонта возрастает на 0,68 % при повышении суммарных затрат времени работников на 1 %, на 0,42 % при повышении фонда оплаты труда на 1 %; на 0,38 % при увеличении количества отремонтированных колесных пар на 1 % и на 0,13 % при увеличении затрат на энергию на 1 %.

Таким образом, как отмечалось в [10], методики оценки, разрабатываемые с целью установления порядка в конкретном производстве, должны как правило включать: из анализа влияния каждого

из параметров на себестоимость ремонта колесных пар следует, что суммарные затраты времени работников являются наиболее существенными. Следовательно, на производстве необходимо добиваться их снижения.

Библиографический список

1. Вумек, Д. П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании ; пер. с англ. / Д. П. Вумек; Д. П. Вумек, Д. Т. Джонс. — М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. — 470 с.
2. Луйстер, Т. Бережливое производство от слов к делу / Т. Луйстер; Т. Луйстер, Д. Теппинг ; пер. с англ. А. Л. Раскина ; под ред. В. В. Брагина. — М. : Стандарты и качество, 2008. — 130 с.
3. Манн, Д. Бережливое управление бережливым производством / Д. Манн ; под ред. В. К. Брагина. — М. : Стандарты и качество, 2009. — 208 с.
4. Маскелл, Б. Практика бережливого учета: управленческий, финансовый учет и система отчетности на бережливых предприятиях ; пер. с англ. — М. : Ин-т комплексных стратег. исследований, 2010. — 384 с.
5. Стандартизированная работа / Пер. с англ. И. Попеско ; под ред. В. Болтрукевича. — М. : Ин-т комплексных стратег. исследований, 2007. — 152 с.
6. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику (An Introduction to Cybernetics) / У. Р. Эшби ; пер. с англ. Д. Г. Лахути ; под ред. В. А. Успенского. — М. : Иностр. лит., 1959. — 432 с.
7. Ахтулова, Л. Н. Разработка методики оценки качества процессов конструкторско-технологической подготовки производства сложных технических устройств / А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, И. Ф. Иванова, А. В. Леонова // Омский научный вестник. — 2014. — № 3 (133). — С. 82–86.
8. Харченко, М. А. Корреляционный анализ / М. А. Харченко. — Воронеж : ВГУ, 2008. — 31 с.

9. Лялин, В. С. Статистика: теория и практика в Excel / В. С. Лялин, И. Г. Зверева, Н. Г. Никифорова. — М. : Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. — 448 с.

10. Ахтулов, А. Л. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств / А. Л. Ахтулов, А. В. Леонова, Л. Н. Ахтулова // Омский научный вестник. — 2013. — № 3 (123). — С. 87–91.

АХТУЛОВ Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС); профессор кафедры электроэнергетики Тобольского индустриального института — филиала Тюменского государственного нефтегазового университета (ТИИ ТюмГНГУ); действительный член Международной академии авторов научных открытий и изобретений и Академии проблем качества; почетный работник высшего профессионального образования.

АХТУЛОВА Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Экономика транспорта, логистика и управление качеством» ОмГУПС.

ГАДЖИЕВ Ибрагим Азимович, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.

ПОДОЛЯК Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», декан механического факультета ОмГУПС.

Адрес для переписки: ahtulov-al1949@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 05.11.2014 г.

© А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, И. А. Гаджиев, С. И. Подольяк

Книжная полка

621.74/К70

Коршунов, В. В. Проектирование технологического процесса и модельно-опочной оснастки для изготовления отливок в песчаных формах : учеб. пособие / В. В. Коршунов, Г. С. Гарибян, Н. Н. Петров. — Омск : ОмГТУ, 2014. — 190 с.

Рассматриваются вопросы, связанные с проектированием технологического процесса и модельно-опочной оснастки для изготовления отливок в песчаных формах. Приведены рекомендации по проектированию рабочего чертежа отливки, сборочных чертежей модельных комплектов для изготовления нижних и верхних полуформ, стержневых ящиков. Приведены расчеты, рекомендации, справочные и нормативные материалы. Предназначено для студентов специальности 150204 — «Машины и технология литейного производства» и направления «Машиностроение» профиль подготовки — «Машины и технология литейного производства».

004.3/Ш17

Шакиров, М. Ф. Базовые узлы цифровых устройств в интегральном исполнении : учеб. электрон. изд. локального распространения : конспект лекций по курсу «Схемотехника ЭВМ» / М. Ф. Шакиров, И. В. Червенчук. — Омск : ОмГТУ, 2014. — 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены схемотехнические основы организации базовых функциональных узлов ЦВМ. Объясняются принципы построения дешифраторов, мультиплексоров, регистров, счетчиков сумматоров в интегральном исполнении. Материал иллюстрируется примерами конкретных промышленных разработок, даются общие рекомендации к их использованию. Издание предназначено для самостоятельной проработки лекций по курсу «Схемотехника ЭВМ» и подготовки к экзаменам.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕМЕХА-РЫХЛИТЕЛЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОЧВ И ГРУНТОВ

Предложен расчет лемеха-рыхлителя из условия минимального сопротивления его движению в рабочем процессе. Учитывали вес подрезаемого слоя почвы, структуру грунта, внутреннее трение слоев грунта и динамическое трение грунта о рабочую поверхность лемеха-рыхлителя. Форму рабочей поверхности лемеха-рыхлителя задает конструктор в виде направляющей кривой и образующей в виде отрезка прямой. Это позволяет получить определенную линейчатую поверхность. Лемех представляется цельным массивом и совмещает в своем основании долото. Нормальное сечение стойки проектируется как криволинейная трапеция.

Ключевые слова: лемех-рыхлитель, геометрия рабочей поверхности, расчет на прочность, минимизация требуемой мощности двигателя.

Рассматривается лемех-рыхлитель грунта, подрезающий пласт почвы снизу. Цель — исследовать геометрию рабочей поверхности лемеха-рыхлителя и получить достаточно простые соотношения для проектирования таких инструментов, которые обеспечивают минимизацию потребной мощности агрегата при обработке поля.

Несмотря на существование большого количества различных конструкций такого инструмента и методов расчета до сих пор потребность в сельском хозяйстве надежного и удобного инструмента, обеспечивающего как качество рыхления, так и достаточную простоту изготовления его на производстве ненавязчиво присутствует. Здесь сделана попытка предложить такой расчет с элементами проектирования лемеха. Расчет приводится на один лемех. Наиболее простая форма лемеха показана на рис. 1.

Известно, что изменение кинетической энергии $0,5 (m_i v_i)$ системы связано с работой W_d сил движения и W_c — сил сопротивления соотношением:

$$W_g - W_c = \sum_{i=0}^n \frac{m_i v_i^2}{2} - \sum_{i=0}^n \frac{m_i v_{i+1}^2}{2}.$$

При установившемся движении, (скорость перемещения v постоянна) $W_d - W_c = 0$ и работу W в поступательном движении (ускорение равно 0) определяют произведением $W = F \cdot s$, где F — движущая сила, s — линейное перемещение, иначе — путь. В таком случае силы взаимодействия «механизм — почва» $F_g = F_c$, причем

$$F_g = P_g / v, \quad (1)$$

где P_g — затрачиваемая мощность, F_c — сумма сил сопротивления, F_g — сила вызывающая движение. Мощность P_g , потребную для работы рыхлителя, определяют суммарно силами полезного и вредного сопротивления:

$$P_g = k F_{nc} v, \quad (2)$$

где коэффициент k учитывает влияние сил вредного сопротивления, $k > 1$; F_{nc} — силы полезного сопротивления движению, v — линейная скорость перемещения рыхлителя.

Будем различать силы F_n — нормальные или лобового сопротивления и силы F_t — касательные, иначе — силы трения (рис. 1). Силы трения возникают при движении частиц материала по рабочей поверхности рыхлителя. Они определяют величину сдвиговых деформаций на поверхности объема, в который заключены эти частицы. При обтекающем относительно движении недеформированной почвы вдоль боковых сторон рыхлителя эти силы также присутствуют, но влияние их существенно меньше. Силы лобового сопротивления определяют величину деформации сжатия на некоторую среднюю глубину δ обрабатываемого материала по направлению движения рыхлителя, т.е. величину деформаций сжатия вертикального слоя почвы, ширина которого равна ширине рабочей поверхности рыхлителя. При известной величине

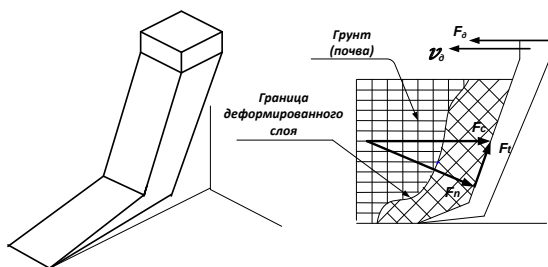


Рис. 1. Лемех рыхлителя и справа возможная расчетная модель его

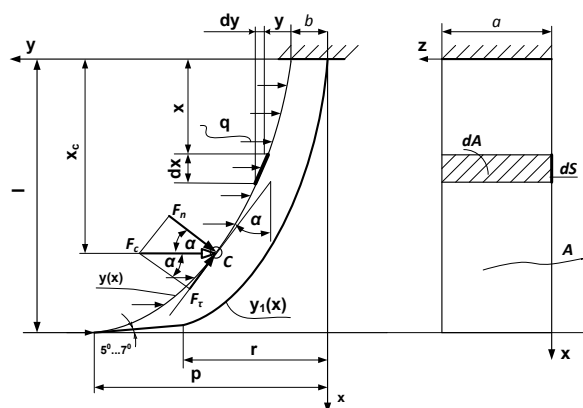


Рис. 2. Расчетная модель лемеха рыхлителя

δ можно определить границы деформированного слоя, его объем, плотность в сжатом состоянии и массу для целей нахождения оптимальных решений формы рабочей поверхности рыхлителя при минимизации рабочих усилий двигательной установки на совершение полезной (требуемой) работы. Простые соотношения, что приведены ниже, описывают некоторую качественную модель собственно процесса рыхления. Так, сила F_c (вектор) сопротивления движению рыхлителя есть сумма векторов сил:

$$F_c = F_n + F_t$$

где F_n — сила нормального давления разрабатываемого грунта на стойку рыхлителя, а тангенциальная сила F_t выносит почву вверх вдоль рабочей его поверхности. Сила, обеспечивающая движение в установившемся режиме работы рыхлителя, равна силе сопротивления этому движению — $F_g = F_c$.

Силу F_t выражают через силу нормального давления в виде произведения

$$F_t = f F_n$$

где f — коэффициент трения скольжения почвы по рабочей поверхности рыхлителя. Тогда сила сопротивления движению рыхлителя в почве

$$F_c = F_n + f F_n = F_n (1 + f).$$

Из последней формулы, пренебрегая различными дополнительными факторами, можно сделать вывод: минимизировать затраты энергии на выпол-

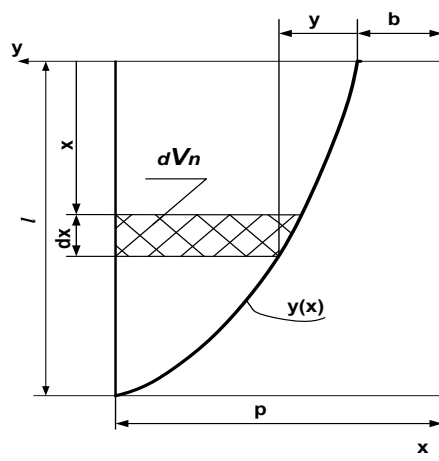


Рис. 3. К определению объема и веса подрезаемого пласта почвы

нение полезной работы можно за счет уменьшения коэффициента f трения:

$$F_{cmin} = F_n (1 + f_{min}). \quad (3)$$

Показанная на рис. 1 форма рыхлителя несовершенна. И основная задача — найти удобную для производителя и приемлемую для механизатора форму рабочей поверхности рыхлителя, обеспечивающую снижение производственных затрат для обеих сторон с обеспечением требуемого качества обработки почвы. Исходя из этой посылки, рассмотрим более подробно работу рыхлителя. Уменьшить трение на поверхности рыхлителя можно, изменив геометрию его рабочей поверхности. Для некоторой определенности и без ущерба к достаточно общей постановке задачи форму рыхлителя приняли как ограниченную двумя кривыми — *параболами*, рис. 2.

$$y(x) = b + kx^2 \quad \text{и} \quad y_1(x) = k_1 x^2. \quad (4)$$

При движении лемеха вес G подрезаемого пласта почвы оказывает равномерное сопротивление на его рабочую поверхность, площадь которой A . Интенсивность q нагрузки со стороны почвы на поверхность лемеха примем равномерно распределенной по этой поверхности, т.е.:

$$q = (G \cdot d)/A, \text{ Н/м}^2, \quad (5)$$

где примем $d = (30...150)$ — как безразмерный коэффициент сил сопротивления почвы, учитывающий ее уплотнение (сжатие) при движении лемеха.

Вычислим объем V_n деформируемого пласта почвы (рис. 3):

$$V_n = \int_0^l dV_n = \int_0^l a(p - y(x))dx$$

или

$$V_n = \int_0^l a(p - b - kx^2)dx = al(p - b - 0,33kl^2)$$

Масса m этого пласта $m = V_n \cdot \rho$, или $m = a\rho l(p - b - 0,33kl^2)$, где $p = y(l) = b + kl^2$, а ρ — плотность (объемная масса): для влажной земли

$\rho = (1900...2000) \text{ кг/м}^3$, для сухой земли $\rho = (1400...1600) \text{ кг/м}^3$.

Так как вес подрезаемой почвы $G=mg$, то, учитывая полученные выше результаты вычислений, найдем требуемый вес подрезаемого пласта

$$G = (2/3)apgkl^3, \quad (6)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Далее определим рабочую площадь A поверхности лемеха: $A = \int_0^l dA = \int_0^l dS$, где дифференциал dS дуги (рис. 2) определен соотношением $dS^2 = dx^2 + dy^2$, или

$$dS = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot dx = \sqrt{1 + 4k^2x^2} dx. \quad (7)$$

Тогда площадь

$$A = a\sqrt{1 + 4k^2x^2} dx = a \cdot 2k \int_0^l \sqrt{\left(\frac{1}{2k}\right)^2 + x^2} \cdot dx. \quad (8)$$

Решение уравнения (8):

$$A = ak \left(x \sqrt{\frac{1}{4k^2} + x^2} + \frac{1}{4k^2} \ln \left(x + \sqrt{\frac{1}{4k^2} + x^2} \right) \right).$$

Подставляя пределы интегрирования, найдем

$$A = ak \left(l \sqrt{\frac{1}{4k^2} + l^2} + \frac{1}{4k^2} \ln \left(l + \sqrt{\frac{1}{4k^2} + l^2} \right) - \frac{1}{4k^2} \ln \left(\frac{1}{2k} \right) \right). \quad (9)$$

Физическая длина Λ рабочей поверхности лемеха:

$$\Lambda = \int_0^l ds = \int_0^l \sqrt{1 + 4k^2x^2} dx.$$

Подставим пределы интегрирования и аналогично предыдущему найдем:

$$\Lambda = k \left(l \sqrt{\frac{1}{4k^2} + l^2} + \frac{1}{4k^2} \ln \left(l + \sqrt{\frac{1}{4k^2} + l^2} \right) - \frac{1}{4k^2} \ln \left(\frac{1}{2k} \right) \right). \quad (10)$$

Координату центра C равнодействующей F_c параллельных сил от равномерно распределенной нагрузки q по рабочей поверхности лемеха (рис. 2) определим по известной из курса сопротивления материалов формуле

$$x_c = \frac{1}{R} \int_A q(ads) x = \frac{1}{F_c} \int_A q(ads) x. \quad (11)$$

Равнодействующая сил сопротивления

$$R = F_c = \int_0^l qdA = \int_0^l qadS.$$

Внесем в последнее уравнение результаты из (5), (7) и (8):

$$\begin{aligned} F_c &= qa \int_0^l \sqrt{1 + 4k^2x^2} dx = \\ &= qa = \frac{G \cdot d}{A} A = G \cdot d. \end{aligned}$$

С учетом веса (6) для равнодействующей F_c получаем окончательно:

$$F_c = (2/3)apgkl^3 d. \quad (12)$$

Вернемся к координате x_c . Интеграл $\int_A q(ads) x = q \int_A x dS$ в уравнении (11) есть момент M равнодействующей относительно закрепления лемеха, рис. 2. В нашем случае закрепление представлено в виде защемления, т.е. справедлива запись: $M = M_{\max} = qa \int_0^l x \cdot \sqrt{1 + 4k^2x^2} dx$.

Решение этого интеграла

$$M = aq2 \cdot 1/3 \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2k}\right)^2 + x^2}^3 \right).$$

Подставляя пределы интегрирования, получаем

$$M = \frac{2}{3} aq \left(\sqrt{\left(\frac{1}{4k^2} + l^2\right)^3} - \frac{1}{8k^3} \right).$$

Так как интенсивность q рабочей нагрузки определена формулой (5), то окончательно найдем:

$$M = \frac{2}{3} ak \frac{Gd}{A} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{4k^2} + l^2\right)^3} - \frac{1}{8k^3} \right). \quad (13)$$

Осталось записать формулу для нахождения координаты x_c . В общем виде момент M от силы F_c относительно защемления лемеха, рис. 2, определим уравнением,

$$M = F_c x_c = Gdx_c \quad (14)$$

или с учетом решения (12) для момента M

$$x_c = \frac{M}{Gd} = \frac{2ak}{3A} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{4k^2} + l^2\right)^3} - \frac{1}{8k^3} \right). \quad (15)$$

Теперь рассмотрим угол α наклона лемеха в точке «С» — рис. 2. Очевидно, что при $\alpha = 0^\circ$ рыхление почвы лемехом данной конструкции невозможно при любой мощности источника движения. Такой же вывод следует, если $\alpha = 90^\circ$, т.е. при горизонтальном положении лемеха, когда мощность сил сопротивления $N_c = 0$. Определим два эти крайних случая следующей зависимостью:

$$N_c = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot N_d. \quad (16)$$

И будем считать, что мощность N_c сил сопротивления равна мощности N_d источника движения при угле $\alpha = 45^\circ$ градусов. Дальнейшее увеличение угла α и, следовательно, ожидаемое уменьшение мощности N_c сил сопротивления требуется проверить экспериментально, фиксируя качество выполняемого процесса.

Составим уравнение оценки требуемой мощности движителя, рис. 2:

$$N_d = (F_\tau + F_l) \cdot v,$$

где v — скорость перемещения рыхлителя, а составляющая равнодействующей

$$F_\tau = F_c \cdot \sin \alpha,$$

и сила трения — $F_\tau = F_n \cdot f = f \cdot F_c \cos \alpha$.

В этом случае в соответствии с предложением (16) для требуемой мощности двигателя найдем

$$N_d = F_c (\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot v, \quad (17)$$

где f — динамический коэффициент трения почвы по стальной поверхности лемеха.

Рассмотрим в качестве примера некоторые конкретные условия рыхления поверхности почвы. Примем: глубина рыхления $l = 0,12$ м, а ширина лемеха — $a = 0,04$ м = 40 мм. Также примем: плотность земли $\rho = 1500$ кг/м³, коэффициент сил сопротивления $d = 37$, коэффициент сил трения $f = 0,30$ и угол α наклона касательной к рабочей поверхности лемеха в точке С приложения равнодействующей силы, рис. 2, равным 45° .

Так как $\tan \alpha = dy/dx$, то, применяя функцию $y(x) = b + kx^2$ для рабочей поверхности лемеха (формула 4, рис. 2), получим: $\tan \alpha = 2kx$, и для угла $\alpha = 45^\circ$ найдем $\tan 45^\circ = 2kx_c = 1$.

В этом случае координата

$$x_c = 1/(2k). \quad (18)$$

Внесем последний результат в левую часть формулы (15):

$$\frac{1}{2k} - \frac{2}{3} \frac{ak}{A} \left(\sqrt{\frac{1}{4k^2} + l^2} \right)^3 - \frac{1}{8k^3} = 0. \quad (19)$$

Из полученного уравнения методом последовательных приближений можно определить коэффициент k . Если для расчетов применить программу Mathcad, то формулы определения координаты x_c и коэффициента k удобнее представить и использовать в интегральной форме:

$$x_c = \frac{\int_0^l x \cdot \sqrt{1 + 4k^2 \cdot x^2} dx}{\int_0^l \sqrt{1 + 4k^2 \cdot x^2} dx},$$

причем для вычисления коэффициента k последнюю формулу можно преобразовать в уравнение, принимая во внимание формулу (18):

$$\frac{1}{2k} - \frac{\int_0^l x \cdot \sqrt{1 + 4k^2 x^2} dx}{\int_0^l \sqrt{1 + 4k^2 x^2} dx} = 0. \quad (20)$$

Полагая $l = 0,12$ м, для коэффициента k получили следующие результаты приближения: при $k = 7,37425$ м⁻¹ разность в левой части (20) равна 0,000000093, а при $k = 7,37426$ м⁻¹ эта разность равна -0,0000000998.

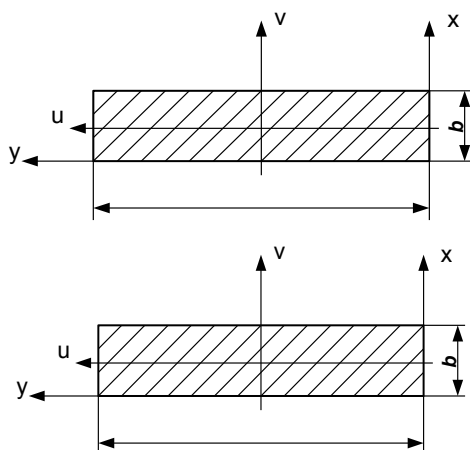


Рис. 4. Нормальное поперечное сечение лемеха

Дальше для расчета приняли второе значение $k = 7,37426$ м⁻¹ и по формуле (18) найдем: $x_c = 0,067803413$ м = 6,78 см = 67,8 мм. Это координата точки приложения равнодействующей сил сопротивления движению лемеха.

Наибольший изгибающий момент, действующий на лемех (рис. 2), найдем из равенства (13): $M = Gdx_c$ или, учитывая формулу (6): $M = (2/3)a$, получим

$$M = (2/3)apgkl^3 x_c.$$

Подставляя соответствующие числа, вычислим: $M = 12,53$ Н·м.

Условие прочности при изгибе

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_u} \leq [\sigma], \quad (21)$$

где момент сопротивления сечения изгибу $W_u = (ab^2)/6$ — рис. 4.

Допустимое напряжение $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n_T}$. Будем считать, что материал для изготовления лемеха — качественная сталь 30, предел текучести которой $\sigma_T = 300$ МПа. Так как нагружение лемеха динамическое и может сопровождаться рывками и вибрациями, то принимаем коэффициент запаса по текучести $n_T = 4$. Тогда, допустимое напряжение $[\sigma] = 75 \dots \text{МПа}$, а условие прочности примет вид $\frac{6M}{ab^2} \leq [\sigma]$. Из условия прочности найдем толщину b лемеха: $b \geq \sqrt{\frac{6M}{a[\sigma]}}$. В данном случае получено: $b = 5,0063 \times 10^{-3}$ м = 5 мм. Силу F_c сопротивления движению лемеха можно определить из формулы (14): $F_c = M/x_c$.

Для рассматриваемого случая: $F_c = 184,82$ кН.

Мощность (16) при угле $\alpha = 45^\circ$ и с учетом (17) определим по формуле

$$N_c = N_d = F_c (\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot v. \quad (22)$$

Примем, что скорость перемещения рыхлителя 15 км/час = 4,17 м/с, тогда $N_c = 707,46$ Вт = 0,71 кВт.

Таблица 1

$x, \text{ м}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
$y(x), \text{ м}$	0,005	0,008	0,017	0,032	0,052	0,079	0,111

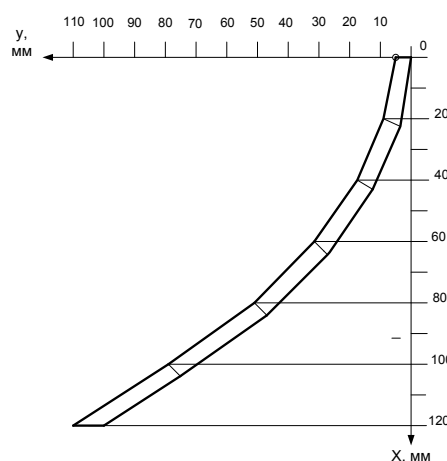
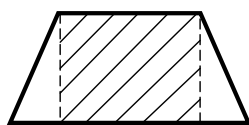


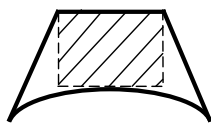
Рис. 5. Расчетная форма и размеры тела лемеха

Таблица 2

d	37	60	80	100	120	140	148
b , мм	5,0	6,4	7,4	8,2	9,0	9,7	10
N_{gr} , кВт	0,71	1,15	1,53	1,91	2,3	2,68	2,83



а)



б)

Рис. 6. Возможные формы сечения стойки лемеха

Чтобы завершить это небольшое исследование, требуется определить конкретную форму и длину заготовки лемеха. Используя полученные результаты, запишем функцию $y(x)$ в следующем конкретном виде

$$y(x) = 0,005 + 7,374x^2. \quad (23)$$

С шагом 0,02 м по оси x построим числовую зависимость (23) и занесем ее в табл. 1.

По числовой зависимости строим профиль лемеха, рис. 5. Рабочая длина Λ заготовки лемеха (10), рис. 5, в данном случае равна: $\Lambda = 0,16725 \text{ м} = 167 \text{ мм}$.

Итак, осталось провести расчетный эксперимент, проверить влияние величины коэффициента d сопротивления почвы на толщину b лемеха и требуемую мощность двигателя при обработке ее рыхлителем. Все другие параметры, влияющие на рабочий процесс, оставим без изменения. Величина их была принята ранее:

a — ширина рабочей поверхности лемеха — 0,04 м = 40 мм;

ρ — плотность разрабатываемого грунта — 1500 кг/м³;

g — ускорение свободного падения — 9,8 м/с²;

k — коэффициент при « x » в уравнении — 7,37426 м⁻¹;

l — предельная координата по оси x — 0,12 м (глубина рыхления);

x_c — координата точки приложения равнодействующей сил сопротивления разрабатываемого грунта лемеху рыхлителя — 0,067803413 м = 67,8 мм;

$[\sigma]$ — допустимое напряжение изгибу — 75 · 106 Па;

f — коэффициент трения — 0,3;

угол альфа (α) 45°;

v — скорость движения лемеха — 4,17 м/с.

Коэффициент d сил сопротивления будем постепенно увеличивать и смотреть, как изменится толщина лемеха и требуемая мощность движителя. Результаты расчета размещены в табл. 2.

Очевидно, что исследования и расчеты на этом не следует заканчивать. Так, с целью получения оптимальной величины угла α касательной к контуру рабочей поверхности лемеха в точке «С» приложения приведенных сил (рис. 2), требуется, задавая шаг его изменения, например, в 5 градусов — 50, 55, 60 и т.д. получить кривую влияния этого угла на интересные параметры. А дальше полученные результаты необходимо проверить в поле. Также расчетом можно получить численное решение влияния высоты (глубины) рыхления на геометрические па-

раметры лемеха и оптимальную его форму относительно минимальных затрат мощности движителя.

В работе [1] рассмотрено решение подобной задачи. Однако, на наш взгляд, исходная расчетная модель [1] не соответствует реальной картине структурного строения почвы. Почва представляет собой некоторый определенный массив песчинок со множественными взаимными контактами во всех направлениях. Если выделить три песчинки, находящиеся в изоляции от множества других с двусторонним контактом средней, как это сделано в работе [1], и построить на них модель взаимодействия частиц между собой и рабочей поверхностью лемеха с целью получения общего решения по такой модели, то подобную модель мы считаем недостаточно корректной.

В завершение статьи скажем: для совершенствования геометрии стойки лемеха форму нормального сечения её можно дополнительно видоизменить. Например, чтобы избавиться от трения почвы о боковую поверхность лемеха, нормальное (поперечное) сечение можно выполнить в виде трапеции, рис. 6а, причем угол наклона боковых сторон сечения не должен быть больше 5...7 угловых градусов. Дополнительно для подрезания дерна образующую передней поверхности (прямую) можно заменить дугой, например, окружности, тогда на криволинейных боковых ребрах лемеха образуются режущие кромки, рис. 6б. Оба предложения очевидны. Расчет на прочность можно провести по выделенному штриховыми линиями прямоугольному сечению. Это добавит небольшой дополнительный запас прочности, и конструктор при необходимости может изменять в некоторых пределах минимальную толщину b стойки лемеха.

Окончательное решение по конструкции может быть принято либо после натурных испытаний, либо по результатам виртуальных испытаний модели лемеха. Технологически стойку лемеха можно представить как поковку с минимальным припуском на обработку только рабочей поверхности стойки.

И последнее — в качестве направляющей для профилирования рабочей поверхности лемеха можно выбрать другие кривые, не обязательно параболу. Однако алгоритм решения задачи может быть сохранен для любой кривой так, как он представлен здесь авторами для параболы.

Библиографический список

1. Тищенко, С. С. Проектирование направляющих кривых поверхностей почвообрабатывающих органов с заданной кривизной [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://elibrary.nubip.edu.ua/6633/1/10tss.pdf> (<http://elibrary.nubip.edu.ua/6633/>) (дата обращения: 02.07.2014).

БОНДАРЕВ Олег Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры инженерной геометрии и САПР Омского государственного технического университета.

БЕЛОУСОВ Владимир Павлович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры проектирования и автоматизации производств Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского, филиал в г. Омске.

Адрес для переписки: obrv2@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 02.07.2014 г.

© О. А. Бондарев, В. П. Белоусов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ УСТАНОВКИ ЛО-15А

В статье произведена оценка надежности работы гидропривода раскряжевочной установки ЛО-15А по статистическим данным об отказах оборудования при различных режимах загрузки машины в реальных погодных условиях работы. Статистические данные получены в результате наблюдений за работой трех однотипных установок в течение 4-х лет на лесоперерабатывающих комплексах Урала. Оценки производились путем обработки вероятностно-статистическими методами информации об отказах по 13 основным показателям как отдельных элементов гидросистемы, так и гидропередачи в целом. Установлены основные источники отказов, законы распределения отказов по элементам гидрооборудования установки, дана оценка интенсивности отказов, установлены самые слабые звенья гидропередачи, снижающие ее общую надежность.

Ключевые слова: надежность гидравлического оборудования, лесообрабатывающее оборудование и машины, статистические данные по эксплуатации.

Гидропривод широко используется в машинах лесной и деревообрабатывающей промышленности, и в перспективе большинство вновь создаваемых станков, машин и полуавтоматических линий ориентировано на применение гидрофицированных агрегатов [1]. Поэтому от надежности работы гидропривода во многом зависит качество выпускаемой продукции и экономическая эффективность производства. Проблемы эффективного использования технологического гидрооборудования в лесоперерабатывающем комплексе не могут быть успешно решены без оценки надежности его работы современными статистическими методами [2].

Раскряжевочная установка ЛО-15А является наиболее распространенным средством механизации выработки круглого лесоматериала из хлыстов на лесозаготовительных предприятиях. Она предназначена для раскряжки хлыстов со средним объемом до 0,75 м³ различного породного состава деревьев на нижних складах лесозаготовительных предприятий, биржах сырья и лесопильных заводах с годовым объемом раскряжки не менее 50 тыс. м³. Особенностью эксплуатации этих машин в нижнескладском технологическом потоке является их работа при разных режимах загрузки, под воздействием температурных, влажностных и др. погодных условий, на стационарном фундаменте, что предъявляет особые требования к организации технического обслуживания и ужесточает требования к безотказности работы оборудования в установленном производственном цикле [3].

Для оценки надежности гидрооборудования установки ЛО-15А была проведена обработка статистическими методами [4] данных по отказам гидрооборудования, собранных в течение четырех лет на лесоперерабатывающих комплексах уральского

региона (ЗАО «Лесмаш», Новэк (Н.Тагил) и др.) и полученных в результате наблюдений за работой трех аналогичных установок. В качестве критериев надежности были выбраны: *вероятность безотказной работы, среднее время безотказной работы, интенсивность отказов, плотность распределения времени до отказа*.

Установка ЛО-15А содержит 6 основных узлов (сборочных единиц) (табл. 1) и выполняет следующие операции:

- поштучная поперечная подача хлыстов манипулятором 1 на продольный транспортер блока раскряжки;
- продольная подача хлыста под пилу продольным транспортером;
- торцовка комля хлыста пилой;
- отмер длины отпиливаемого сортамента на приемном столе;
- разделка хлыста на заданный сортament пилой;
- сброс отходов распиловки с приемного стола;
- уборка отходов раскряжки транспортером отходов 5.

Система гидрооборудования установки состоит из гидропривода манипулятора и узла раскряжки. Гидропривод манипулятора состоит из маслостанции и двух маслососов, исполнительных гидроцилиндров и трубопроводной системы. Гидрооборудование узла раскряжки также включает маслостанцию, исполнительные гидроцилиндры и подводящие трубопроводы. Все три маслостанции унифицированы, как и гидроцилиндры.

Принципиальная гидравлическая схема узла раскряжки дана на рис. 1. Оценка надежности гидропривода раскряжевочной установки производилась путем обработки вероятностно-статистическими методами информации об отказах, полученной

Таблица 1
Сборочные единицы установки ЛО-15А

№	Наименование узла	Обозначение
1	Манипулятор двухстреловой	ЛО-15А.10.000
2	Блок раскрывки	ЛО-15А.20.000
3	Стол приемный	ЛО-15А.30.000
4	Гидросистема	ЛО-15А.40.000
5	Транспортер отходов	ЛО-15А.50.000
6	Система электрооборудования	ЛО-15А.60.000

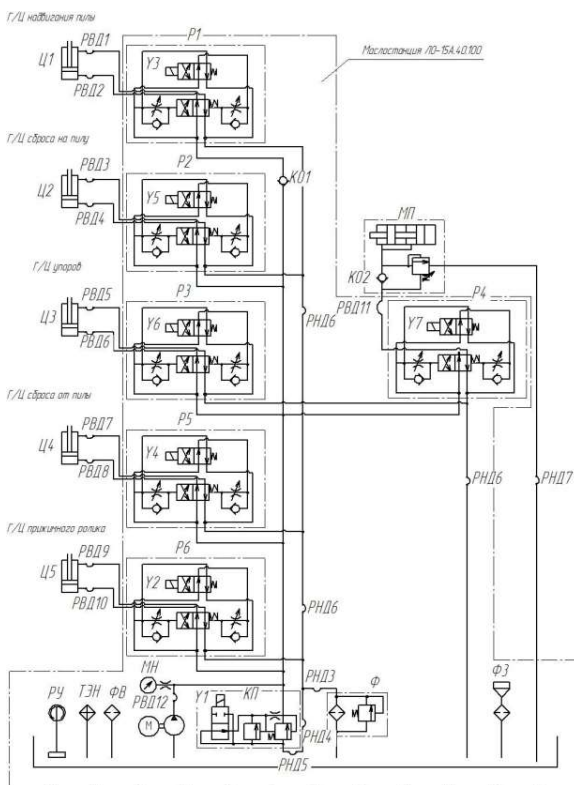


Рис. 1. Принципиальная гидросхема узла раскрывки

Таблица 2
Карта показателей работы гидрооборудования

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Содержание показателей:

1 — наименование отказавшей или поврежденной детали, узла; 2 — описание повреждения, отказа; 3 — предполагаемая причина повреждения, отказа; 4 — наработка на отказ, маш.ч; 5 — средняя производительность за смену, м³; 6 — способ устранения отказа; 7 — продолжительность устранения отказа, ч; 8 — трудоемкость устранения отказа, чел.-час; 9 — заводской сертификат и дата поставки машины; 10 — дата ввода в эксплуатацию; 11 — предприятие и исходящий номер письма, дата; 12 — меры, принятые заводом; 13 — примечания.

из анализа эксплуатационных данных, которые заносились в специальные карты по показателям, перечисленным в табл. 2.

Основными элементами(узлами) гидросистемы ЛО-15А, отказы которых влияли на работу установ-

ки, являются: 1 — гидроцилиндр стрелы манипулятора; 2 — гидроцилиндр рукояти манипулятора; 3 — гидроцилиндр надвигания пилы; 4 — гидроцилиндр приемного стола; 5 — гидроцилиндр прижимного ролика; 6 — гидрораспределитель манипулятора; 7 — гидрораспределитель пилы; 8 — насос НШ-100; 9 — маслопровод; 10 — штуцер плиты маслостанции; 11 — предохранительный клапан гидроцилиндра манипулятора; 12 — рукав высокого давления; 13 — перепускной клапан пилы.

В результате обработки данных по отказам и неисправностям были установлены законы распределения времени до отказа перечисленных выше элементов (табл. 3):

— Экспоненциальное распределение: $\text{Exp}(\lambda)$, когда вероятность безотказной работы за время t равна $P(t) = e^{-\lambda t}$ и $\lambda = 1/T_{\text{ср}}$ характеризует интенсивность отказов элемента, $T_{\text{ср}}$ — средняя наработка элемента до отказа; в этом распределении интенсивность отказов постоянна, а функция ресурса $\Lambda = \lambda t$ — линейная, плотность распределения $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

— Усеченное нормальное распределение: $TN(m_0, \sigma_0)$, где m_0 — значение случайной величины, соответствующее максимальному значению плотности $f(t)$, определяемой по выражению:

$$f(t) = \frac{c}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-(t-m_0)^2 / 2\sigma_0^2},$$

здесь: коэффициент $c = 1/[0,5 + \Phi_0(m_0 / \sigma_0)]$, где Φ_0 — функция Лапласа, значения которой выбираются из таблиц [3]; остальные величины равны $m = m_0 + k\sigma_0$, $\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 + k \frac{m_0}{\sigma_0} - k^2}$; $k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{m_0^2 / 2\sigma_0^2}$

— Равномерное $U(a, b)$, $a \geq b$, в котором

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{при } a \leq t \leq b \\ 0 & \text{при } t < a, t > b \end{cases}$$

$$P(t) = \begin{cases} \frac{b-t}{b-a} & \text{при } a \leq t \leq b; \\ 1 & \text{при } t < a; 0 & \text{при } t > b. \end{cases}$$

Расчетные показатели надежности — среднее время безотказной работы $T_{\text{ср}}$ и среднее квадратическое отклонение σ для перечисленных узлов и элементов также приведены в табл. 3.

В соответствии с установленными законами распределения времени до отказа элементов гидросистемы были рассчитаны вероятности безотказной работы узлов и установки. Табулируя функцию вероятности безотказной работы в диапазоне от 0 до 2000 часов с шагом 100 час, получили значения вероятностей, которые приведены в табл. 4. Вероятность безотказной работы установки определялась как произведение всех вероятностей

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^{13} P_i(t).$$

Среднее время безотказной работы гидросистемы в итоге составило примерно 78,5 час; вероятность безотказной работы системы гидропривода равняется $P(t) = 0,37$. Полученные результаты в целом подтверждаются опытом эксплуатации установок [3].

Обработка статистических данных по отказам в системе гидропривода раскрывочной установки ЛО-15А позволяет сделать следующие выводы:

Таблица 3

Законы распределения времени до отказа узлов гидропривода

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Закон распределения	TN(2000;1118)	U(2000;6000)	TN(2125;1111)	Exp(0,0007)	TN(2833;1247)	Exp(0,0009)	Exp(0,0002)	Exp(0,001)	Exp(0,0009)	Exp(0,0002)	Exp(0,002)	TN(2100;1020)	Exp(0,0002)
T_{cp} , час	2075	1000	2125	1500	2833	1167	500	1000	1167	500	500	2167	500
σ , час	1181	1000	1111	1500	1247	1167	500	1000	1167	500	500	1085	500

Таблица 4

Вероятность безотказной работы элементов и гидросистемы

t , ч	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_c
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	0,99	0,91	0,99	0,93	0,99	0,91	0,82	0,91	0,82	0,82	0,82	0,99	0,82	0,309
200	0,98	0,82	0,98	0,87	0,99	0,84	0,67	0,82	0,84	0,67	0,67	0,99	0,67	0,095
300	0,97	0,74	0,98	0,81	0,99	0,76	0,55	0,74	0,76	0,55	0,55	0,98	0,55	0,029
400	0,96	0,67	0,97	0,76	0,98	0,67	0,45	0,67	0,7	0,45	0,45	0,97	0,45	0,009
500	0,95	0,61	0,96	0,71	0,98	0,64	0,37	0,61	0,64	0,37	0,37	0,96	0,37	0,0026
600	0,93	0,55	0,94	0,66	0,97	0,58	0,30	0,55	0,58	0,30	0,30	0,95	0,30	0,0008
700	0,91	0,50	0,93	0,61	0,97	0,53	0,25	0,50	0,53	0,25	0,25	0,93	0,25	$24,10^{-5}$
800	0,89	0,45	0,91	0,57	0,96	0,49	0,20	0,45	0,49	0,20	0,20	0,92	0,20	$72,10^{-6}$
900	0,87	0,41	0,89	0,53	0,95	0,45	0,17	0,41	0,45	0,17	0,17	0,90	0,17	$21,10^{-6}$
1000	0,85	0,37	0,87	0,50	0,94	0,41	0,14	0,37	0,41	0,14	0,14	0,88	0,14	$61,10^{-7}$
1100	0,82	0,33	0,85	0,46	0,93	0,37	0,11	0,33	0,37	0,11	0,11	0,85	0,11	$18,10^{-7}$
1200	0,79	0,30	0,82	0,43	0,92	0,34	0,09	0,30	0,34	0,09	0,09	0,83	0,09	$5,10^{-7}$
1300	0,76	0,27	0,79	0,40	0,90	0,31	0,07	0,27	0,31	0,07	0,07	0,80	0,07	$14,10^{-8}$
1400	0,73	0,25	0,77	0,38	0,88	0,28	0,06	0,25	0,28	0,06	0,06	0,77	0,06	$4,10^{-8}$
1500	0,7	0,22	0,73	0,35	0,87	0,26	0,05	0,22	0,26	0,05	0,05	0,74	0,05	$1,10^{-8}$
1600	0,66	0,20	0,70	0,32	0,85	0,24	0,04	0,20	0,24	0,04	0,04	0,70	0,04	$28,10^{-9}$
1700	0,63	0,18	0,67	0,30	0,83	0,22	0,03	0,18	0,22	0,03	0,03	0,67	0,03	$75,10^{-10}$
1800	0,59	0,17	0,63	0,28	0,80	0,2	0,03	0,17	0,20	0,03	0,03	0,63	0,03	$2,10^{-10}$
1900	0,56	0,15	0,60	0,26	0,78	0,18	0,02	0,15	0,18	0,02	0,02	0,59	0,02	$5,10^{-11}$
2000	0,52	0,14	0,56	0,25	0,76	0,17	0,02	0,14	0,17	0,02	0,02	0,55	0,02	$12,10^{-12}$

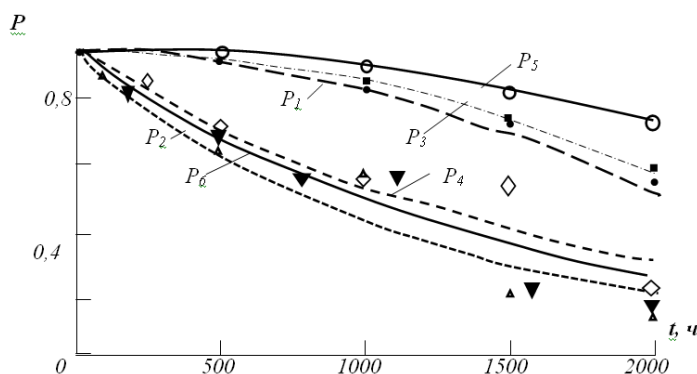


Рис. 2. Вероятность безотказной работы гидроцилиндров ЛО-15А

— плотность распределения времени до отказа гидросистемы больше всего соответствует экспоненциальному закону, что свидетельствует о преобладании дефектов, имеющих случайный характер. При этом анализ карты отказов показал, что в гидросистеме преобладают отказы, связанные с на-

рушением герметичности уплотнений и разрывами рукавов высокого давления, что возможно связано с низким качеством комплектующих и деталей;

— интенсивность отказов гидросистемы на этапах приработки и нормальной эксплуатации остается примерно постоянной, что также свидетельствует

о случайном характере причин возникновения отказов (скрытые дефекты при изготовлении деталей, внешние ненормированные воздействия, преждевременное старение материалов и др.). На этапе старения происходит возрастание интенсивности отказов, связанных с длительностью эксплуатации, износом и иными стандартными причинами [1, 5].

Вероятность безотказной работы гидроцилиндров приведена на диаграмме (рис. 2).

Библиографический список

1. Тюкавкин, В. П. Повышение надежности лесозаготовительной техники / В. П. Тюкавкин, Ф. П. Попов. — М.: Лесная промышленность, 1978. — 173 с.
2. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.

3. Темкин, В. Э. Привод машин и механизмов лесной промышленности / В. Э. Темкин, К. Г. Суетин. — М.: Лесная промышленность, 1990. — 208 с.

4. Барышев, В. И. Надежность и диагностика гидропривода: учеб. пособие / В. И. Барышев. — Челябинск: ЮУрГУ, 2003. — 154 с.

5. Сырицын, Т. А. Надежность гидро- и пневмопривода / Т. А. Сырицын. — М.: Машиностроение, 1981. — 216 с.

ДОРОШЕНКО Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики.

Адрес для переписки: viktor.dorosh2013@yandex.ru

ЗАЛОГИН Олег Валерьевич, аспирант кафедры гидравлики.

Адрес для переписки: zalogin1988@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.01.2015 г.

© В. А. Дорошенко, О. В. Залогин

УДК 621.924.56

О. С. ЛОМОВА

Омский государственный
технический университет

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРЕЦЕССИИ ОСИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ НА ТОЧНОСТЬ КРУГЛОГО ШЛИФОВАНИЯ

В статье математически описана связь погрешностей исполнения и положения технологических баз круглошлифовального станка с прецессией оси вращения заготовки и точностью обработки. Полученные зависимости позволяют прогнозировать точность обработки в случае погрешности исполнения центровых отверстий или несоосности центров и производить при необходимости корректировку режимов резания с целью стабилизации динамической точности станка.

Ключевые слова: процесс шлифования, точность обработки, радиальное смещение оси, отклонение формы, точки контакта.

Надежность и долговечность функционирования различных технологических машин зависят от точности изготовления их ответственных деталей, многие из которых представляют собой тела вращения (валы, роторы, гильзы, золотники и т.д.). Прогноз показывает, что уже в ближайшие годы допуски на размеры прецизионных деталей изделий будут соответствовать IT2–IT4, отклонение от плоскостности 0,2–2 мкм, отклонение от округлости 0,2–1 мкм, шероховатость в пределах Ra 0,0075–0,1 мкм [1].

Эксплуатационные свойства цилиндрических деталей формируются в основном при финишной обработке на круглошлифовальных станках. Шлифование является сложным процессом, на который оказывают влияние многие факторы [2]. Одним из условий точного шлифования является правильное исполнение и расположение технологических баз, которыми для деталей типа валов являются их центровые отверстия и центры станка. Считается, что базирование в центрах станка обеспечивает стабильное положение оси детали при вращении. Однако детальное рассмотрение реальной формы и расположения поверхностей этих элементов

не подтверждает этот факт, особенно при оценке точности обработки прецизионных деталей [3].

Некоторые авторы отмечали смещение оси заготовки при обработке [4, 5]. Однако количественная связь между смещением, первичными погрешностями и точностью обработки поверхностей практически не исследована. В то же время в ряде работ показано, что, несмотря на погрешность технологических баз, ось детали в центрах не смещается, однако отклонение формы обработанных реальных поверхностей, а не экспериментальных образцов указывает на возможность этого смещения.

При установке заготовки в центры станка большую трудность представляет определение оси её вращения. Траектория перемещения оси может быть круговой или по линии в зависимости от погрешности исполнения центровых отверстий заготовки или изменения положения заднего центра станка. Так как радиальные смещения оси заготовки имеют переменный характер, то отклонение формы обработанной поверхности в различных сечениях неодинаково. Влияние только двух погрешностей, таких как перекося центров станка и погрешностей

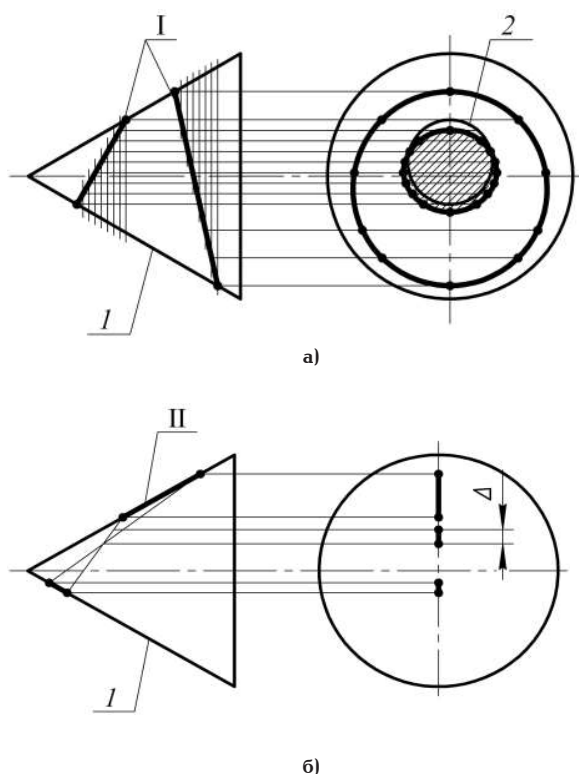


Рис. 1. Следы точек контакта на центре:
а) из-за несоосности центров;
б) при погрешности центрального отверстия;
1 — центр; 2 — центровое отверстие; Δ — смещение

исполнения центровых отверстий детали приводит к нарушению нормальных условий базирования. При этом деталь будет иметь прецессию оси, влияющую на погрешность формы обработанной поверхности. Математическое определение этой траектории и величины смещения оси заготовки позволят прогнозировать точность обработки при шлифовании.

Как правило, центры станка и центровые отверстия детали рассматривают как геометрически правильные элементы. Однако эти допущения ошибочны. Центровые отверстия детали на конической поверхности могут иметь волны, по выступам которых происходит контакт с центром станка. Отклонения их формы наследуются наружной поверхностью обработанной детали. Действие сил резания также может изменять положение центра задней бабки. Это повлечет за собой смещение оси детали и приведет к погрешности её формы. Таким образом, при изменении соотношения между элементарными погрешностями, такими как отклонение формы, несоосность центровых отверстий и центров, несовпадение углов их конусов, торцовое биение заготовки изменяются условия контактирования конусных поверхностей технологических баз [6].

При погрешности формы центрального отверстия контакт с центром происходит по нескольким постоянным точкам, расположенным на конусе центрального отверстия заготовки. При несоосности центров станка контакт осуществляется по переменным точкам, расположенным по линиям пересечения центра с центровым отверстием и торцом заготовки. В первом случае точки за один оборот детали перемещаются по конусу центра, оставляя на нем кольцевой след (рис. 1а). Во втором случае происходит линейное перемещение точек вдоль оси центра по образующей его поверхности (рис. 1б).

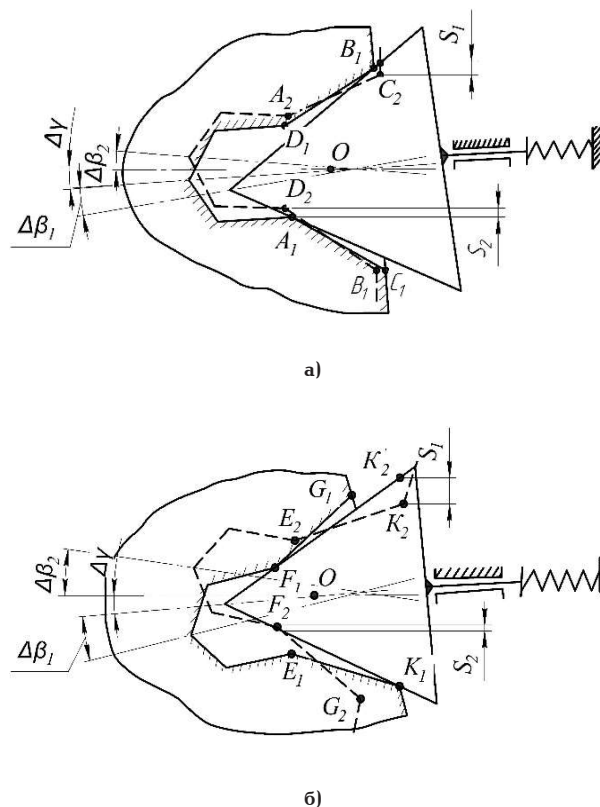


Рис. 2. Перемещение точек на центре:
а) при постоянном контакте центра с центровым отверстием; б) при переменном контакте

Найдем смещение оси заготовки для случая погрешности исполнения ее центровых отверстий и при перекосе оси центров. Для упрощения задачи примем расположение центровых отверстий и центров в одной плоскости. При этом не учитываем действие сил резания и контактные деформации технологических баз. Также условно принимаем абсолютную жёсткость сопрягаемых тел. Таким образом, определение смещения оси заготовки производим при свободном вращении детали в центрах станка.

Если оси центров станка совпадают, то происходит их полное прилегание к центровым отверстиям заготовки. Тогда их контакт на торце детали осуществляется по точкам K_2, F_2 (рис. 2а) или C_2, D_2 (рис. 2б). Если общая ось центров не совпадает с осью центровых отверстий заготовки, то их контакт может осуществляться по постоянным (E_1, G_1 и K_1, F_1) или переменным точкам (A_1, B_1 и C_1, D_1). В этом случае при повороте детали на 180° точки постоянного контакта перейдут в положение E_2, G_2 и K_2, F_2 , а переменного контакта в A_2, B_2 и C_2, D_2 , при этом точка C_2 отстоит от центра на расстояние S_2 , а точка D_2 на расстояние S_1 . Поскольку общая ось детали связана с точками контакта на центровом отверстии, то по их перемещению можно судить о прецессии оси детали во время обработки.

Для условия контактирования технологических баз по постоянным точкам расстояния S_1 и S_2 можно найти как:

$$S_1 = c \cdot \operatorname{tg}(30^\circ + \Delta\gamma) + \frac{d - D}{2 \cdot \cos(\Delta\beta)}, \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{D - d}{2 \cos \Delta\beta} - c \cdot \operatorname{tg}(30^\circ - \Delta\gamma), \quad (2)$$

где c — глубина центрального отверстия, мм; D , d — большой и маленький диаметры центрального отверстия, мм; $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ — углы, характеризующие положение оси детали на центрах.

Тогда радиальное смещение оси детали можно определить как:

$$\Delta = S \cdot \cos(30^\circ + \Delta\gamma), \quad (3)$$

$$\text{где } S = \frac{S_1 - S_2}{2}.$$

Аналогично находится смещение оси детали для случая, когда точки контакта переменны ($\Delta\beta < \Delta\gamma$):

$$S_1 = c \cdot \operatorname{tg}(\Delta\beta) - (c - \delta_m) \cdot (\operatorname{tg}(\Delta\beta) + \operatorname{tg}(30^\circ + \Delta\beta)) + \frac{D}{2} \cdot \cos(\Delta\beta) - \frac{d \cdot \cos(\Delta\beta)}{2}, \quad (4)$$

$$S_2 = d \cdot \sin(\Delta\beta) \cdot \operatorname{tg}(30^\circ + \Delta\gamma - \Delta\beta). \quad (5)$$

Радиальное смещение оси детали при переменных точках контакта так же определяется по выражению (3). Определим погрешность формы детали для основных видов контактов центра и центрального отверстия:

$$\Delta_\phi = 2 \cdot \alpha \cdot l, \quad (6)$$

где α — угол между осью детали и осью центров.

Угол α при смещении оси центров можно найти следующим образом. Построим перпендикуляр от оси детали к оси смещения центров. В образовавшемся треугольнике $\triangle OML$ сторона ML — смещение оси центров, тогда угол α будет равен:

$$\alpha = \operatorname{tg}(ML/OL) = \operatorname{tg}(\Delta/l), \quad (7)$$

где OL — длина детали l .

Тогда погрешность формы детали можно определить как:

$$\Delta_\phi = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg}(\Delta/l). \quad (8)$$

Погрешность шлифования была рассчитана на примере золотника гидроцилиндра, выполненного из стали 45 диаметром $d = 32_{-0,02}^{+0,02}$ мм и длиной $l = 100_{-1,1}^{+1,1}$ мм. Погрешности расположения технологических баз были выбраны так, чтобы соблюдались условия их контактирования по постоянным и переменным точкам. Для этого были найдены погрешности центральных отверстий детали ($\Delta\gamma = 10'$, $\Delta\beta = 45'$, $D = 8$ мм; $d = 2,5$ мм; $c = 3$ мм) и перекосы центров станка ($\Delta\gamma = 45'$; $\Delta\beta = 10'$). Затем для каждого случая определяли радиальное смещение оси детали и находили погрешность ее формы.

Расчеты показали, что даже незначительный перекося оси центров или погрешность центральных отверстий приводит к отклонению формы золотника в 16,8 мкм и 12,6 мкм соответственно. Результаты расчетов показали хорошее совпадение с исследованиями авторов [7, 8]. Подобные результаты показали и экспериментальные исследования, которые проводились на круглошлифовальном станке модели 3А110М на режимах выхаживания. Шлифование заготовок производилось в двух сечениях: сечение I — у подвижного центра, сечение II — у неподвижного центра. Затем заготовку выдерживали на центрах станка 60 минут и далее измеряли её радиус в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 3).

Измерения радиусов деталей показали разные результаты. Замеры радиусов деталей в эталонных

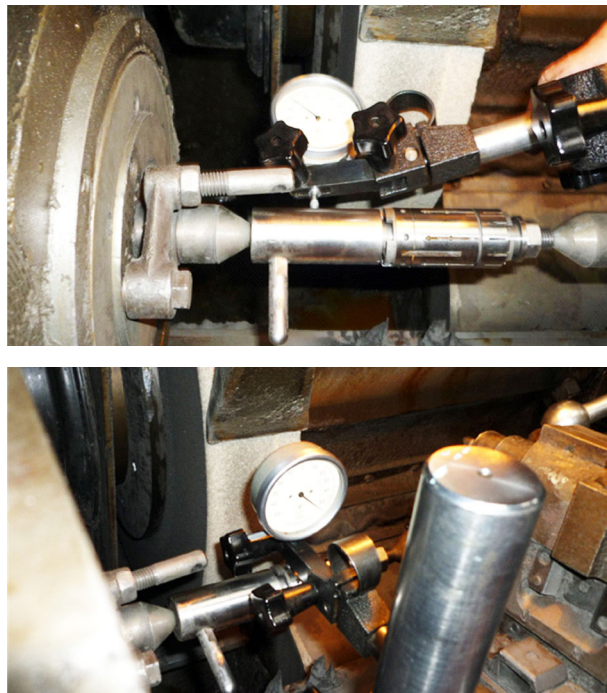


Рис. 3. Измерения радиуса заготовки

центрах резки отличались от измерений в центрах станка. Этот факт объясняется разной величиной перекося центров круглошлифовального станка и измерительного прибора. Следовательно, при изменении положения центров станка изменяется положение оси детали, влияющее на точность обработки.

Круглограммы заготовок, обработанных при контакте технологических баз по постоянным точкам, показали, что в сечении заготовки у заднего центра погрешность ее формы представляет собой овал и составляет 22 мкм. В сечении у переднего центра погрешность формы составляет 3 мкм (рис. 4). Все обработанные на режимах выхаживания детали имели отклонение радиусов. Также было зафиксировано осевое смещение заднего центра станка. Таким образом, можно отметить, что даже при свободном вращении в центрах происходит смещение оси заготовки, связанное с погрешностью расположения центров. В эталонных центрах величина радиусов отличалась от измерений на станке по той же причине.

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что при переменных точках контакта технологических баз отклонение формы центрального отверстия наследуется наружной поверхностью детали. Траектория перемещения оси детали представляет собой смещение в плоскости перекося центров станка. Одновременно деталь имеет радиальное биение, величина которого равна величине перемещения оси. При постоянных точках контакта технологических баз форма обработанной поверхности детали копирует траекторию перемещения ее оси.

Доказано, что радиальное смещение оси детали у центра задней бабки в несколько раз больше, чем у центра передней бабки. Расчеты подтвердили, что при переменном контакте центра и центрального отверстия из-за перекося центров станка величина смещения оси детали больше, чем при постоянном их контакте из-за погрешности формы центральных отверстий. Таким образом, различное сочетание погрешностей технологических баз приводит

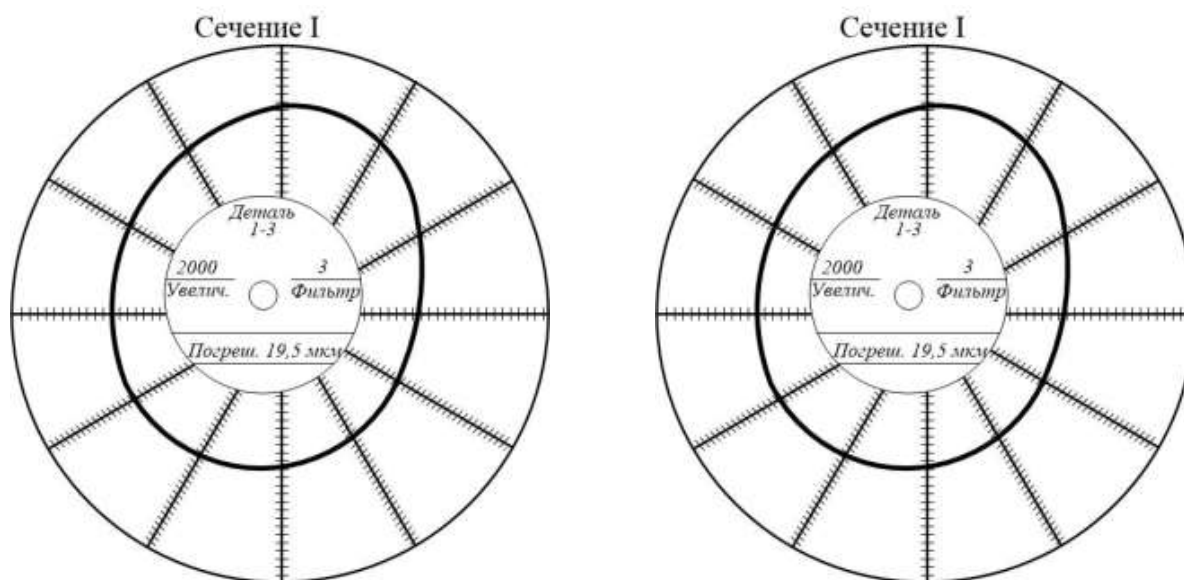


Рис. 4. Круглограммы обработанной заготовки в сечениях: I — у центра задней бабки; II — у центра передней бабки

к разным видам их контакта. Это служит причиной переменного радиального смещения оси детали, которое наследуется обработанными поверхностями. На практике величина несоосности центров вследствие влияния силы резания и других технологических факторов значительно больше полученных расчетных значений. Это вызывает существенные отклонения формы деталей при круглом наружном шлифовании.

Библиографический список

1. Васильев, А. С. Направленное формирование качества изделий машиностроения в многосвязных технологических средах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. С. Васильев. — М. : Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. — 32 с.
2. Новоселов, Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. — Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1979. — 232 с.
3. Brinksmeier E. Prediction of shape deviations in machining. CIRP Annals / E. Brinksmeier, J. Sülter // Manufacturing Technology. — 2009. — Vol. 58. — Issue 1. — Pp. 507–510.
4. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. — М. : МАИ, 2000. — 364 с.
5. Ковенский, И. М. Повышение эффективности управления обработкой высокопрочных сталей и сплавов на станках с ЧПУ / И. М. Ковенский, Р. Ю. Некрасов, У. С. Путилова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2008. — № 2. — С. 116–118.
6. Ломова, О. С. Точность обработки деталей на круглошлифовальных станках / О. С. Ломова, С. М. Ломов, А. П. Моргунов. — М. : Технология машиностроения, 2011. — 176 с.
7. Dimitrov, D. System for Controlling the Accuracy and Reliability of Machining Operations on Machining Centres / D. Dimitrov, V. Karachorova, T. Szecsi // The Manufacturing Engineering Society International Conference. — 2013. — Vol. 63. — pp. 108–114.
8. Ананченко, В. Н. Модель процесса круглого центрового шлифования / В. Н. Ананченко, А. В. Ковалев, И. Н. Нестеренко // Вестник ДГТУ. — 2001. — Т. 1. — № 1. — С. 26–32.

ЛОМОВА Ольга Станиславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтехимических технологий и оборудования.

Адрес для переписки: 190567@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.01.2015 г.

© О. С. Ломова

Книжная полка

621.3/M94

Мылов, Г. В. Методологические основы автоматизации конструкторско-технологического проектирования гибких многослойных печатных плат / Г. В. Мылов, А. И. Таганов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2014. — 167 с. — ISBN 978-5-9912-0367-8.

Изложены методологические основы, включающие в себя современную концепцию построения информационного сопровождения стадий жизненного цикла гибких многослойных печатных плат (ГМП), основы анализа и синтеза проектных конструкторско-технологических решений и информационной поддержки этапов автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства изделий ГМП. Для специалистов, будет полезна аспирантам и студентам.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ СМЕСИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Проведен выбор термической обработки для повышения износостойкости покрытий из самофлюсующейся смеси твердых сплавов, нанесенных воздушно-плазменным способом на лезвие лап культиваторов.

Ключевые слова: термообработка, структура, микротвердость, воздушно-плазменное напыление, износостойкость, образцы.

Для защиты от абразивного износа с эффектом самозаточки лезвий лап культиваторов, как показали результаты проведенных исследований [1], наиболее эффективно покрытие из самофлюсующейся смеси твердых сплавов (ПР-НХ17СР4 + ФБХ6-2) [2], которое наносится воздушно-плазменным напылением с последующим оплавлением газовой горелкой или ТВЧ.

Однако, по результатам эксплуатационных испытаний лап, с нанесенными покрытиями, износостойкость последних не достигает уровня, полученного при лабораторных испытаниях образцов. Причиной этого явления может быть то, что, по технологическому процессу упрочнения лап культиваторов, нанесенное на штампованную заготовку износостойкое покрытие подвергается вынужденной термообработке по режиму закалки с отпуском на 40HRC основного материала лапы (сталь 65Г) для обеспечения ее конструктивной прочности [2]. При этом, возможно, изменяется структура покрытия и, как следствие, его физико-механические и эксплуатационные свойства.

Оценка изменения свойств износостойких покрытий на различных стадиях процесса упрочнения лап (напыление, оплавление, термообработка) проводилась путем металлографических исследований структуры образцов покрытий с замером твердости, а также сравнительными испытаниями на износ в специализированной машине трения. В качестве закрепленного абразива применялось плазменно-дуговое покрытие из оксида хрома (ОХН-1М), нанесенное на поверхность трения дискового контртела, прижимающегося с определенным усилием к исследуемому покрытию, которое, в свою очередь, наносилось на торец вращающегося кольцевого образца. Металлографические исследования и замеры микротвёрдости проводились на микроскопах ЛабоМет-И и ПМТ-1М соответственно.

Результаты исследований микротвердости образцов основного материала и покрытий, прошедших различную термообработку, приведены в табл. 1. Как следует из результатов измерений, наибольшей твердостью обладает покрытие, оплавленное ТВЧ и закалённое в масле после подстуживания до $t=850^\circ\text{C}$. При проведении стандартной упрочняющей термообработки для основного материала лап (табл. 1, п. 1), твердость нанесенного покрытия из самофлюсующейся смеси твердых сплавов снижается почти в 1,5 раза.

Металлографические исследования микроструктуры образцов покрытий свидетельствуют, что такая термообработка, включающая отпуск при $t = 350^\circ\text{C}$ в течение 2-х часов, изменяет структуру матричного твердого раствора оплавленных покрытий с аустенитно-мартенситной на аустенитно-сорбитную и даже перлитную в результате распада мартенситной основы сплава ФБХ6-2, упрочняющего аустенитную матрицу сплава ПР-НХ17СР4, которая сама по себе не претерпевает при этом каких-либо изменений. Причем такое упрочнение, связанное с растворением первого сплава во втором, происходит наиболее интенсивно при оплавлении покрытий ТВЧ, по сравнению с газовой горелкой. На микрошлифах данных покрытий, приведенных на рис. 1 и 2, это хорошо видно по изменению формы частиц сплава ФБХ6-2 со сферической на распадающуюся овальную вплоть до полного растворения в аустенитной с никель-боридной эвтектикой основы сплава ПР-НХ17СР4.

Дополнительно было проведено измерение твердости основного материала лапы на образце, прошедшем предварительную закалку с отпуском на 40HRC и дополнительную термообработку при оплавлении ТВЧ с последующей, после подстуживания, закалкой в масле напыленного на его край покрытия шириной 15 мм, т.е. имитирующего зону

Виды термообработки основного материала и покрытий

№ п/п	Исследуемый образец основного материала и покрытия	Вид термообработки	Средняя микротвердость, HV, кгс/мм ²
1	Основной материал (сталь 65Г)	Закалка в масле с нагревом до $t = 850^{\circ}\text{C}$ и отпуск при $t = 350^{\circ}\text{C}$ в течение 2-х часов	370
2	Покрытие состава: ПР-НХ17СР4+ФБХ6-2 после плазменного напыления (1)	Охлаждение на воздухе	1020
3	Покрытие состава (1), оплавленное газовой горелкой	Охлаждение на воздухе	980
4	Покрытие состава (1), оплавленное газовой горелкой	Закалка + отпуск по режиму термообработки основного материала (сталь 65Г)	740
5	Покрытие состава (1), оплавленное ТВЧ	Охлаждение на воздухе	1000
6	Покрытие состава (1), оплавленное ТВЧ	Закалка в масле сразу же после оплавления с предварительным подстуживанием на воздухе до $t = 850^{\circ}\text{C}$	1070

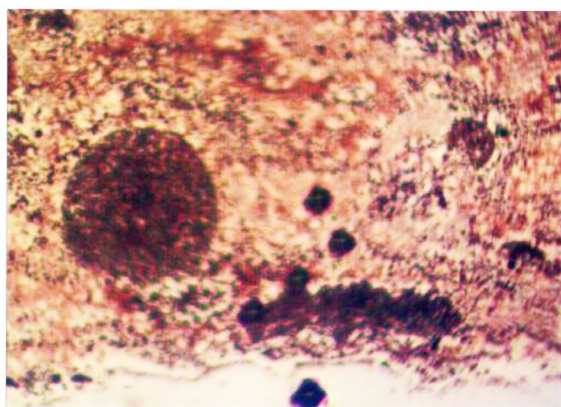


Рис. 1. Микроструктура покрытия состава: ПР-НХ17СР4+ФБХ6-2 на стали 65Г, оплавленного газовой горелкой и прошедшего упрочняющую термообработку для стали по режиму: закалка в масле с $t = 850^{\circ}\text{C}$ и отпуск на 40HRC, при $t = 350^{\circ}\text{C}$ в течение двух часов. Травление нителем. X200

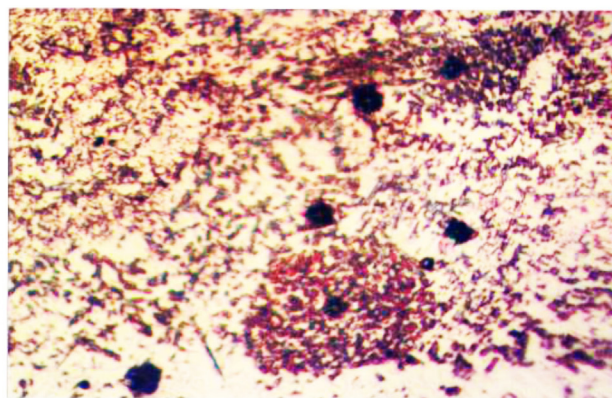


Рис. 2. Микроструктура покрытия состава: ПР-НХ17СР4+ФБХ6-2 на стали 65Г, оплавленного ТВЧ и закаленного в масле после подстуживания до $t = 850^{\circ}\text{C}$. Травление нителем. X200

Таблица 2

Износостойкость напыленных покрытий

№ п/п	Испытуемый образец основного материала и покрытия	Вес образцов		Убыль, ΔG , г	Средние значения, г	Сравнительная износостойкость $\varepsilon = \frac{\Delta G_{\text{основ}}}{\Delta G_{\text{покр}}}$
		До испытания, G_1 , г	После испытания, G_2 , г			
1	Основной материал — сталь 65Г, закаленная и отпущенная на $\approx 40\text{HRC}$	20,7176 20,7851	20,5922 20,6625	0,1254 0,1226	0,1240	1,0
2	Покрытие состава (1), оплавленное газовой горелкой и прошедшее закалку с отпуском по режиму термообработки стали 65Г	21,7861 21,7640	21,7248 21,7053	0,0613 0,0587	0,060	2,067
3	Покрытие состава (1), оплавленное ТВЧ и закаленное в масле после подстуживания до $t = 850^{\circ}\text{C}$	21,6073 21,3361	21,5710 21,2960	0,0363 0,0401	0,0382	3,247

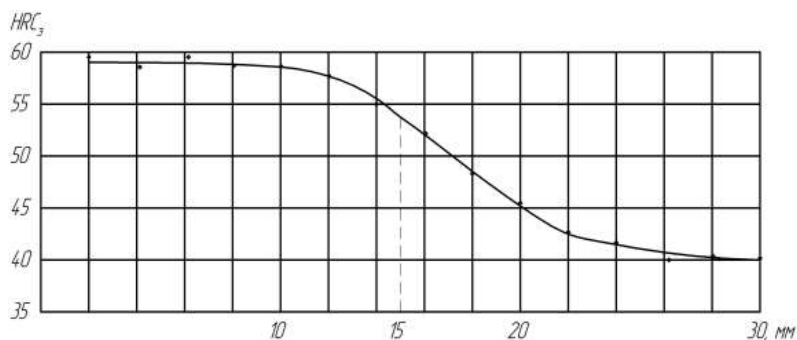


Рис. 3. Распределение твердости основного материала (сталь 65Г) в области покрытия, шириной 15 мм, и в прилегающей зоне термовлияния

лезвия лапы. Результаты замеров приведены на рис. 3 в виде графического распределения твердости основного материала в районе покрытия (с обратной стороны) и прилегающей зоне. Из него следует, что такой порядок выполнения операций термообработки и оплавления не снижает твердости термообработанного предварительно основного материала лапы в зоне термовлияния при оплавлении покрытий ТВЧ с последующей закалкой, обеспечивая при этом максимальную твердость покрытия.

Результаты сравнительных испытаний на абразивный износ приведены в табл. 2, из которой видно, что износостойкость исследованных образцов покрытий зависит от их твердости. Так, наименьший средний износ за двухчасовое испытание, при удельном давлении 1,5 кгс/мм² и скорости скольжения 0,5 м/с, показали образцы с покрытием, прошедшим оплавление ТВЧ с последующей закалкой в масле после подстуживания на воздухе до $t = 850^\circ\text{C}$.

Таким образом, проведенные исследования и испытания позволили выявить причину снижения твердости и, соответственно, износостойкости покрытий из самофлюсующейся смеси твердых сплава на железо-никелевой основе. По измененной технологии стандартная закалка с отпуском на 40HRC₀ основного материала лап стала производиться после их штамповки, после чего они поступают на воздушно-плазменное напыление износостойких покрытий с последующим оплавлением их ТВЧ и закалкой в масле, подстуженном до $t = 850^\circ\text{C}$ лезвия с нанесенным покрытием. Это

в 2...3 раза увеличило срок службы лап по сравнению с упрочненными по старой технологии.

Библиографический список

1. Супрунов, Г. Н. Исследование износостойкости плазменных покрытий деталей почвообрабатывающей техники и комбикормового оборудования при трении в свободном абразиве / Г. Н. Супрунов, Б. Е. Лопаетов // Омский научный вестник. — 2009. — № 1 (77). — С. 45–47.
2. Порошки металлические легированные для защитных покрытий : Информационный листок / НПО «Тулачермет». — Тула, 1983. — 10 с.
3. Марочник сталей и сплавов / Под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М. : Машиностроение, 1989. — 640 с.

ЛОПАЕВ Борис Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры машиностроения и материаловедения Омского государственного технического университета.

СУПРУНОВ Геннадий Иванович, старший научный сотрудник отдела «Плазменные технологии» Омского научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей.

ГРИНБЕРГ Пётр Борисович, генеральный директор Омского научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей. Адрес для переписки: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11.

Статья поступила в редакцию 21.11.2014 г.

© Б. Е. Лопаетов, Г. И. Супрунов, П. Б. Гринберг

Книжная полка

621.791/E70

Еремин, Е. Н. Плазменная сварка : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. 150301 (150700.62) «Машиностроение» и специальности 150501 (151701.65) «Проектирование технологических машин и комплексов» / Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов, В. С. Кац. — Омск : ОмГТУ, 2014. — 122 с. — ISBN 978-5-8149-1829-1.

Рассмотрены свойства плазменной дуги и особенности устройств для ее получения. Описаны разновидности плазменной сварки. Приведены конструктивные особенности и технико-экономические характеристики оборудования для плазменной сварки отечественного и импортного производства. Даны практические рекомендации по использованию плазменной сварки в различных отраслях промышленности. Предназначено для студентов бакалавриата по направлению подготовки 150301 (150700.62) «Машиностроение» и специальности 150501 (151701.65) «Проектирование технологических машин и комплексов», а также может быть полезно инженерам и специалистам, занятым в сварочном производстве.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Статья посвящена описанию системы технического диагностирования состояния объектов мобильной техники, способной обеспечить контроль технического состояния образца мобильной техники и выдать рекомендации по устранению выявленных неисправностей.

Ключевые слова: техническая диагностика, система технического диагностирования состояния, функциональная задача, неисправность.

В последнее время особое внимание уделяется вопросам технического диагностирования мобильной техники. Система технического диагностирования должна заменить планово-предупредительную систему обслуживания и ремонта. Возникновение такой системы обусловлено необходимостью обеспечения высокой эффективности отечественных образцов мобильной техники и сокращением расходов на обеспечение мероприятий технического обслуживания и ремонта.

Можно выделить следующие основные недостатки планово-предупредительной системы:

- ремонтным и регулировочным работам могут подвергаться агрегаты и узлы, которые находятся в удовлетворительном состоянии и, следовательно, не требуют выполнения такого объема работ;
- в случае возникновения скрытого отказа его обнаружение и устранение возможно только во время проведения регламентных работ.

Создание системы технического диагностирования позволит выполнить следующие задачи [1]:

- контроль технического состояния, поиск мест и определение причин отказов электрических (электронных) систем, двигателя и трансмиссии с глубиной поиска до блока, а также оценка остаточного ресурса образцов;
- выдача информации по технологии работ при техническом обслуживании и ремонте объектов путём замены сборочных единиц, блоков, а также обобщение и хранение информации по техническому состоянию групп образцов.

Техническое диагностирование объекта мобильной техники согласно [2] состоит из следующих функциональных задач:

- контроль технического состояния;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

Основным результатом выполнения этой функциональной задачи станет заключение о работоспособности или неработоспособности диагностируемого объекта.

Задачи технического диагностирования решаются как при помощи простых (с визуальной индикацией) средств, так и при помощи более дорогих — электронных цифровых [3]. Контроль технического состояния представляет собой оценку

работоспособности объекта. Так как СУ не всегда имеют понятие блока в своем составе, принимается глубина поиска и определение причин отказа для этих систем, ограничить заменяемыми при ремонте элементами этих систем.

Точность любого прогноза в конечном итоге определяется набором исходных данных. В свою очередь, эти исходные данные в рассматриваемом контексте проблемы являются отражением текущего состояния объекта, а также его предыдущих состояний, если объект ранее подвергался диагностированию или эти данные ранее были введены в базу данных.

На основе полученных данных могут быть выработаны рекомендации по характеру дальнейшего использования диагностируемых объектов в зависимости от технического состояния двигателя. Своевременное и точное определение технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя в целом позволит выявить образцы, которые по энергетическим и экономическим показателям не способны в полном объеме выполнять задачи в соответствии со своим назначением.

Учитывая опыт эксплуатации, предлагается следующий список функциональных задач, необходимый при создании системы технического диагностирования:

- контроль технического состояния;
- выполнение диагностирования;
- поиск места отказа, обнаружение неработоспособных автоматизированных систем и сборочных единиц;
- определение причин отказов;
- выдача рекомендаций по выполнению восстановительных работ;
- взаимодействие членов экипажа диагностируемого объекта и оператора, проводящего диагностику.

Применение системы диагностирования даст возможность начальнику на основе рекомендаций сделать правильное распределение имеющихся у него сил и средств.

Выделение функциональных задач не означает их полной независимости. У каждой из них есть входные и выходные параметры, при этом выходные параметры одной функциональной задачи могут быть входными параметрами другой. Способы

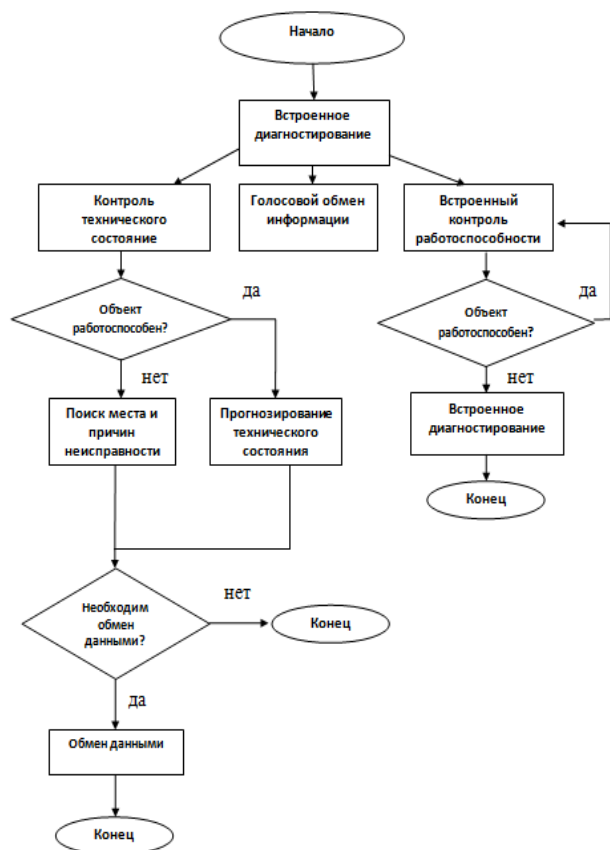


Рис. 1. Алгоритм взаимодействия функциональных задач системы технического диагностирования

взаимодействия функциональных задач описываются соответствующим алгоритмом.

На основе списка функциональных задач был разработан алгоритм взаимодействия функциональных задач системы технического диагностирования, представленный на рис. 1.

Учитывая взаимосвязь между функциональными задачами, к выходным параметрам рассматриваемой функциональной задачи необходимо отнести информацию, предназначенную для других функциональных задач. Это данные, которые формируются в процессе контроля диагностического состояния. Они необходимы для поиска места и определения причин отказа, для прогнозирования технического состояния, для автоматизированной обработки данных [4].

Входными параметрами для контроля технического состояния служат потоки данных, формируемые диагностируемой системой объекта и выбранные для проверки их на соответствие оценочным значениям. Потоки данных отражают величины и изменения диагностируемых параметров объекта.

Реализация задач, связанных с диагностированием и прогнозированием технического состояния, должна базироваться на автоматизированной обработке данных, при этом участие оператора не предусматривается.

От оператора диагностирования требуется лишь выполнять инструкции, выдаваемые прикладного программного обеспечения. Тем не менее оператор может самостоятельно вызывать функции дополнительных возможностей системы технического диагностирования, пользоваться справочной информацией, работать с архивом и формировать отчетную документацию.

Выполнение всех вышеперечисленных условий позволит создать систему технического диагностирования, применение которой сократит расходы на проведение работ технического обслуживания и ремонта образца мобильной техники.

Библиографический список

1. ГОСТ 2091-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. Введ. 2002-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 2001. — 23 с.
2. Бельских, В. И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов [Текст] / В. И. Бельских. — М. : Колос, 1980. — 495 с.
3. Техническое руководство по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных комбайнов [Текст]. — М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. — 244 с.
4. Александров, Н. П. Диагностирование бензиновых двигателей по составу отработавших газов на основе выключения цилиндров [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Н. П. Александров. — Иркутск, 2004. — 20 с.

СМОЛИН Андрей Александрович, преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики военной автомобильной техники.

Адрес для переписки: smolin.andrey.1977@mail.ru

ВОРОБЬЕВ Евгений Валериевич, преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики военной автомобильной техники.

Адрес для переписки: russkii13-49@rambler.ru

Статья поступила в редакцию: 22.12.2014 г.

© А. А. Смолин, Е. В. Воробьев

Книжная полка

621.1/Э65

Энерготехнологические установки в теплотехнике : практикум / В. В. Шалай [и др.]. — Омск : ОмГТУ, 2014. — 118 с. — ISBN 978-5-8149-1827-7.

Практикум разработан для теоретического изучения тепловых и конструктивных расчетов топочных камер при различных условиях эксплуатации, которые в настоящее время широко применяются во многих отраслях промышленности, приведены расчеты теплового баланса и КПД парового котла, топочной камеры и радиационных поверхностей нагрева. Даны примеры и задачи для закрепления материала. Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника».

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ДИНАМИЧЕСКИМ СИЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Рассмотрено влияние комбинированной электромеханической обработки с динамическим силовым воздействием на эксплуатационные свойства поверхностных слоев обрабатываемых деталей. Особенность влияния дополнительного ударного воздействия в процессе ЭМО на изменение механических свойств упрочненного слоя.

Ключевые слова: электромеханическая обработка, динамическое силовое воздействие, ударное нагружение, поверхностный слой.

В последние годы разработано большое количество различных технологических методов повышения износостойкости деталей узлов трения. Большинство методов являются, по сути, методами поверхностного упрочнения путем модифицирования структуры поверхностного слоя материала. Анализ технологических методов обработки поверхностей деталей машин показывает, что универсальных методов нет, каждый имеет свою конкретную область рационального применения, зачастую достаточно узкую. Технолог и конструктор стоят перед проблемой выбора высокоэффективного метода обработки из большого числа возможных или создания на основе их совмещения комбинированного метода обработки детали. На предприятиях машиностроения все шире применяются комбинированные методы термомеханической, электрофизической, электрохимической и ионно-лучевой обработки, в основу которых положено использование высокопроизводительных инструментов, а также разнообразных источников высококонцентрированной энергии. В процессе такой обработки поверхностный слой детали поглощает в короткое время значительное количество энергии. Образующиеся в нем неравновесные диссипативные структуры аккумулируют избыток энергии и самопроизвольно стремятся к состоянию с наименьшей свободной энергией. В поверхностном слое происходят необратимые процессы наследственности и самоорганизации, которые путем наложения и совместных действий потоков энергии ведут к образованию комплекса структур с определенными свойствами.

Большими потенциальными возможностями улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин, позволяющая наиболее полно реализовывать потенциал механических и эксплуатационных характеристик материала, благодаря формированию на его поверхностном слое уникальных структурно-фазовых состояний, обладает электромеханическая обработка (ЭМО) [1–5]. ЭМО

является особым способом контактной обработки поверхностей высококонцентрированным источником электрической энергии, объединяющим в единой технологической схеме силовое и термическое воздействие инструмента на деталь, что позволяет формировать уникальные свойства поверхностного слоя деталей.

Для ЭМО характерно постоянное тепловое воздействие, основным источником которого является прохождение через место контакта поверхности и рабочего инструмента электрического тока большой силы (до 1500 А) и малого напряжения (3–6 В), статическое приложение деформационного усилия, что создает суммарное постоянное по величине термомодеформационное воздействие на зону обработки.

Исследования поверхностного пластического деформирования как одного из прогрессивных видов обработки показывает, что комбинированное статическое и динамическое нагружение зоны деформации значительно повышает эффективность обработки, позволяет регулировать равномерность упрочнения поверхности, формировать упрочненный поверхностный слой со стабильными характеристиками. Создание дополнительного деформирующего воздействия при производстве электромеханической обработки за счет динамической составляющей нагрузки, которая формируется в ударной системе и сообщается в зону деформации в виде, например, пролонгированного импульса позволяет увеличить глубину создаваемого упрочненного поверхностного слоя, его твердость, а также измельчить закалочные структуры в момент их формирования.

Упрочнение ЭМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении создает дополнительные возможности при формировании упрочненной поверхности. Технология упрочнения при этом может включать следующие этапы: предварительное статическое и последующее периодическое импульсное нагружение инструмента в условиях постоянного или импульсного подвода электрического



Рис. 1. Схема различных сочетаний теплового и деформационного воздействий при ЭМО

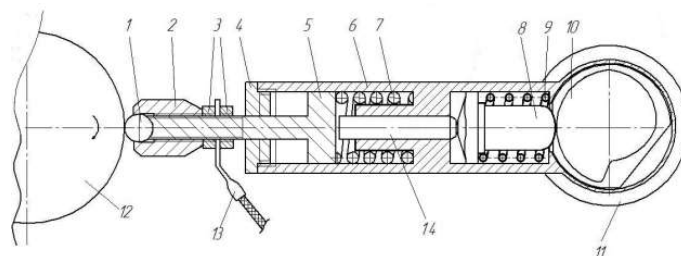


Рис. 2. Схема комбинированной электромеханической обработки с динамическим (ударным) силовым воздействием [5]

тока в зону контакта, большой величины и низкого напряжения. При этом предварительное нагружение создает основные условия для деформационного воздействия и способствует более полной передаче концентрированного потока энергии в виде импульса к обрабатываемой поверхности.

На рис. 1 представлена схема возможных сочетаний теплового и механического воздействий в ходе ЭМО, которые реализуются при использовании постоянного или переменного тока; статического или импульсного пластического деформирования; синхронного или асинхронного приложения ударных и электрических (тепловых) импульсов с запаздыванием или опережением рабочих импульсов относительно друг друга; варьированием числа (частоты) ударных импульсов за длительность одного электрического, с использованием волновых процессов, в т.ч. с пролонгацией ударного импульса и т.д.

Такие разновидности электромеханической обработки, как электромеханическая обработка с динамическим силовым воздействием (ЭМОсДСВ), с импульсными ударными нагрузками (ЭМИО) [2, 6], позволяют достичь наибольшей интенсивности температурно-силового воздействия на материал в процессе обработки. При ЭМО одновременно с пропусканием электрического тока через место контакта рабочего инструмента и обрабатываемой поверхности создаются ударные силовые импульсы, синхронные с импульсами электрического тока,

при этом длительность и частота этих импульсов равна электрическим импульсам. Такое изменение технологии традиционной электромеханической обработки со статическим действием контактной нагрузки позволяет существенно повысить скорость тепловых и деформационных процессов и создать условия для увеличения количества энергии динамического воздействия, затрачиваемого на пластическое деформирование поверхностного слоя, его пролонгации.

Особенности влияния дополнительного ударного воздействия в процессе ЭМО исследовались на цилиндрических деталях диаметром 50 мм изготовленных из стали марок 45 и 38ХС в нормализованном исходном состоянии, подвергнутых комбинированной электромеханической обработке с динамическим силовым воздействием (ЭМОсДСВ). Обработка проводилась в один проход. Выбор в качестве объекта исследования вышеуказанных сталей объясняется их широким использованием в машиностроении, и в частности в узлах многоцелевых гусеничных машин, к которым предъявляются высокие требования по надежности, прочности и износостойкости.

Для обработки была создана специальная установка, состоящая из токарно-винторезного станка модели ИТ-1М, источника постоянного тока типа ВАКГ-12/6-630-4, твердосплавного инструмента со сферической рабочей поверхностью, установленного соосно с генератором механических

импульсов (рис. 2). На установке обрабатывалась наружная цилиндрическая поверхность образца — 12, закрепленного на оправке.

Ударное (динамическое) нагружение осуществляли по схеме, показанной на рис. 2. В процессе обработки обеспечивалось синхронное включение тока с его плавным регулированием и установкой различных временных выдержек с помощью коммутирующей и управляющей аппаратуры. Плотность тока j варьировалась от 300 до 600 А/мм². Длительность импульса электрического тока устанавливали равной длительности ударного импульса в диапазоне от $1 \cdot 10^{-4}$ с до $10 \cdot 10^{-4}$ с.

В процессе «классической» ЭМО со статическим нагружением инструмента наибольшая толщина упрочненного слоя ($h \approx 1 - 3$ мм) достигается при плотности тока 1600 А/мм² и более, причем дальнейшее увеличение плотности тока не приводит к закономерному пропорциональному увеличению h и, более того, ведет к снижению некоторых эксплуатационных характеристик поверхностного слоя, связанных, например, с образованием вторичной шероховатости поверхности.

Динамическое силовое воздействие в процессе ЭМО обеспечивает достижение более высоких значений h при значительно меньших плотностях тока. При этом необходимую силу ударного динамического нагружения инструмента можно вычислить по формуле, аналогичной известной зависимости С. Г. Хейфеца [6]:

$$P_{\text{дин}} = 2\sigma_{\text{Т.дин}} h^2, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{Т.дин}}$ — динамический предел текучести материала упрочняемой детали.

В работе [3] экспериментально установлено, что и при статическом ($P_{\text{ст}}$), и при ударном ($P_{\text{дин}}$) нагружении глубина распространения пластической деформации под инструментом однозначно определяется глубиной восстановленного отпечатка, а скоростные зависимости предела текучести и пластической твердости (ГОСТ 18835-73) аналогичны.

Динамический предел текучести $\sigma_{\text{Т.дин}}$ можно вычислить по статическому пределу текучести $\sigma_{\text{Т.ст}}$ и динамическому коэффициенту твердости $\eta_{\text{нд}}$ [6]:

$$\sigma_{\text{Т.дин}} = \sigma_{\text{Т.ст}} \eta_{\text{нд}}. \quad (2)$$

При этом динамический коэффициент твердости можно рассчитать по следующей формуле [4]:

$$\eta_{\text{нд}} = 0,5 \left(1 - \frac{137v_0}{H_{\text{Д}}} + \sqrt{1 + \frac{2250v_0}{H_{\text{Д}}}} \right), \quad (3)$$

где v_0 — начальная скорость соударения.

В процессе проведения экспериментальных исследований силу удара ($P_{\text{дин}}$) при ЭМО варьировали от 900 до 2500 Н в соответствии с результатами расчета по формуле (1).

Влияние ЭМОсДСВ на механические свойства оценивали по изменению микротвердости поверхности образца. Для получения данных о характере изменения механических свойств по глубине зондируемого слоя, делали срез поверхности образца, в последующем производили внедрение индентора прибора ПМТ-3 по схеме через равные расстояния. По диагоналям полученных отпечатков рассчитывали микротвердость на определенной глубине, по полученным значениям микротвердости строили зависимость микротвердости по глубине поверхностного слоя. Исследования микротвердости и металлографический анализ поверхностного слоя,

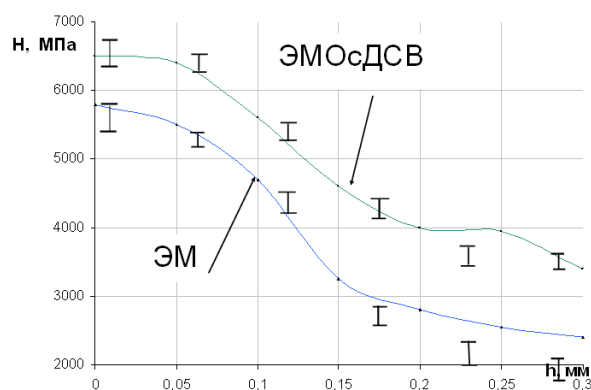


Рис. 3. Зависимость изменения микротвердости по глубине упрочненного поверхностного слоя для деталей, обработанных ЭМО и ЭМОсДСВ, для стали 38ХС при одинаковых значениях V , I

полученного при ЭМОсДСВ в один проход, показали, что импульсное энергетическое воздействие на обрабатываемую поверхность и связанные с этим тепловые эффекты приводят к неоднородности свойств в поверхностных и приповерхностных слоях исследуемых сталей.

На рис. 3 показано распределение микротвердости по толщине упрочненного поверхностного слоя. Установлено, что микротвердость $H_{\text{н}}$ и толщина упрочненного слоя h в значительной степени зависят от режимов обработки — плотности тока j и силы статического и динамического нагружения (силы удара $P_{\text{дин}}$). В приповерхностных объемах для стали 38ХС $H_{\text{н}} = 6500 \dots 7500$ МПа, а значение h в некоторых случаях может достигать 0,3...0,8 мм, а при больших значениях плотности тока и до 1 мм.

Анализ микроструктуры сталей 45 и 38ХС после динамической электромеханической обработки с разными режимами упрочнения показал в поверхностных слоях наличие зоны так называемого «белого слоя». При этом в зависимости от сочетания деформационного и теплового воздействия на обрабатываемую поверхность «белый слой» может формироваться как на поверхности образца, так и в приповерхностной области, что объясняется образованием избыточной теплоты в зоне обработки, которая не успевает отводиться в тело детали, и температура нагрева поверхностного слоя значительно превышает пороговое значение. В результате возникновения большого количества теплоты происходит незначительный отпуск закаленной на «белый слой» стали. Кроме того, различные режимы импульсной обработки приводят к наличию или отсутствию полос сдвига в зоне упрочнения.

Экстремальные условия, создаваемые в зоне обработки при импульсном температурно-силовом воздействии в ходе ЭМОсДСВ, приводят к возникновению в материале термодинамически неравновесных структур, обусловленных сочетанием дисперсных метастабильных фаз, повышенной субструктурной и концентрационной неоднородностью, ростом несовершенств кристаллического строения. Подобные эффекты становятся причиной повышенной микротвердости «белого слоя», упрочненного ЭМОсДСВ.

Таким образом, изменение характера приложения усилия и пластического деформирования в процессе ЭМО приложение ударного воздействия

на поверхность позволяет повысить интенсивность процесса высокотемпературной деформации и способствовать дополнительному упрочнению обрабатываемой поверхности. Сравнительный анализ зависимостей микротвердости по глубине упрочненного поверхностного слоя для деталей, обработанных ЭМО и ЭМОсДСВ, показывает средний прирост твердости равный 15...30 %, при одинаковых значениях технологических факторов упрочнения (силы тока и скорости обработки). При этом высокие скорости и температуры протекающих процессов способствуют фиксации указанных упрочненных структур на большей глубине поверхностного слоя, что невозможно достичь при традиционной электромеханической обработке со статическим прижатием инструмента к обрабатываемой поверхности. Анализ полученных результатов экспериментов показывает перспективность развития и совершенствования ЭМОсДСВ; исследуемый способ обработки обладает высокими потенциальными возможностями эффективного управления структурно-фазовыми превращениями при ЭМО благодаря воздействию на обрабатываемую поверхность импульсов заданной формы, амплитуды и продолжительности.

Библиографический список

1. Аскинази, Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой [Текст] / Б. М. Аскинази. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. — 196 с.
2. Эдигаров, В. Р. Технологии и оборудование комбинированных способов электромеханической обработки [Текст] / В. Р. Эдигаров. — Омск : ОАБИИ, 2014. — 280 с.
3. Гурьев, Г. В. Метод твердости для оценки сопротивления стали пластической деформации при ударе : науч. тр. / Г. В. Гурьев, М. С. Дрозд, А. В. Федоров. — Волгоград : ВПИ. — 1967. — С. 383—403.
4. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. — М. : Машиностроение, 1986. — 224 с.
5. Пат. 132751. Российская Федерация, МПК В24В 39/04 (2006.01). Державка для комбинированной электромеханоимпульсной обработки [Текст] / Эдигаров В. Р., Дегтярь В. В., Ушнурцев С. В., Новиков П. Д. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Эдигаров В. Р. — № 2013105500/02 ; заявл. 08.02.2013 ; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.
6. Матлин, М. М. Особенности формирования упрочненного слоя при электромеханической обработке с динамическим силовым воздействием [Текст] / М. М. Матлин, Н. Г. Дудкина, А. Д. Дудкин // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2007. — № 6 (30). — С. 38—41.

ЭДИГАРОВ Вячеслав Робертович, кандидат технических наук, доцент (Россия), начальник кафедры двигателей.

ЛИТАУ Евгений Викторович, преподаватель кафедры двигателей.

МАЛЫЙ Вячеслав Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации бронетанковой и автомобильной техники.

Адрес для переписки: edigarovs@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.12.2014 г.

© В. Р. Эдигаров, Е. В. Литав, В. В. Малый

Книжная полка

621.74/Д79

Дубровин, В. К. Технологические процессы литья : учеб. пособие / В. К. Дубровин. — Челябинск : Издат. центр ЮУрГУ, 2013. — 193 с. — ISBN 978-5-696-04513-9.

В учебном пособии приведены практические рекомендации по разработке технологического процесса изготовления отливок в разовые формы, выдержки из применяемых стандартов и необходимый справочный материал, варианты заданий для самостоятельной работы и пример ее выполнения. Учебное пособие является руководством к выполнению выпускной квалификационной работы бакалавров, практических, курсовых работ и проектов магистров по направлению 150400 «Металлургия». Пособие также может быть полезно для инженерно-технических работников литейного производства.

621.791/Т33

Теоретические основы электродуговой и газовой сварки : учеб. пособие / Ред. Г. В. Конюшков. — Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2013. — 63 с. — ISBN 978-5-7433-2661-7.

В учебном пособии рассмотрены особенности сварных соединений основными способами сварки плавлением: электрической дугой с ее разновидностями и газовой. Рассмотрены теоретические основы этих методов сварки. Даны краткие рекомендации по выбору параметров режимов. Учебное пособие предназначено для бакалавров-инженеров и магистров, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение» в соответствии с профилем «Оборудование и технология сварочного производства» очного, заочного и ускоренного обучения. Может быть полезно для бакалавров и магистров, обучающихся по другим направлениям: приборостроение, общее, энергетическое, транспортное, химическое машиностроение, производство металлоконструкций и нефтегазовых трубопроводов. Пособие заинтересует конструкторов и технологов, занимающихся проектированием и производством сварных конструкций в других отраслях техники. Учебное пособие позволит будущим специалистам сварочного производства подойти к пониманию и применению сварки при разработке технологии изготовления изделий в самых различных отраслях техники.