

СЕКЦИЯ 4. МЕХАНИКА, МАШИНЫ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ ШЛИФОВАНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В.А. Носенко, С.В. Орлов, А.А Крутикова.,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Требования к качеству подшипников постоянно повышаются. Одним из условий обеспечения эксплуатационных требования является повышение геометрической точности деталей подшипников и, в частности, колец подшипников. Особые трудности возникают при изготовлении колец нежестких подшипников, например, авиационных. Диаметр таких колец достигает 500 мм. Поэтому перед подшипниковой промышленностью стоит проблема повышения эксплуатационных характеристик подшипников, которые во многом зависят от точности геометрической формы колец и качества их поверхностного слоя, формируемых на заключительной стадии технологического процесса изготовления колец.

Шлифование колец является одной из составных частей технологического процесса изготовления и занимает в нем важное место, так как здесь осуществляют конечную обработку, которая должна обеспечить необходимые параметры по точности и качеству.

Окончательной обработкой торцов нежестких колец подшипников является плоское врезное шлифование. Однако традиционные способы шлифования торцевых поверхностей не могут обеспечить достаточно высокой производительности обработки, требуемой плоскостности торцов и необходимого качества поверхностного слоя.

После термообработки подшипниковые кольца приобретают неплоскостность (изогнутость) торцевых поверхностей под действием остаточных температурных напряжений. Наличие изогнутости торцевой поверхности существенно усложняет про-

цесс шлифования, поскольку под действием магнитного поля стола станка кольца получают дополнительную деформацию. После выключения магнитного поля кольцо восстанавливается, и поверхность торца становится вновь изогнутой.

Для устранения изогнутости торцовых поверхностей используют различные технологические приемы, но их применение существенно увеличивает время обработки и стоимость операции. Повысить эффективность технологического процесса можно за счет управления радиальной P_y и тангенциальной P_z составляющих силы шлифования, так как они оказывают наибольшее влияние на возникновение упругих деформаций.

Так же рассчитаем математическую модель среднего арифметического отклонения от профиля Ra , так как необходимо получить еще и требуемое качество поверхности.

В качестве параметров режимов резания на операции плоского врезного шлифования выбраны глубина шлифования t и скорость окружной подачи заготовки v_s . Основными параметрами характеристики абразивного инструмента выбраны зернистость Z и твердость P . Учитывая, что сила шлифования за период обработки может изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, в качестве пятого фактора принят объем удаляемого материала V . При расчете Ra в качестве факторов выбираем глубину шлифования t , скорость окружной подачи заготовки v_s , зернистость Z и твердость P инструмента.

Учитывая достаточно большое количество факторов, влияющих на силу и шероховатость поверхности, целесообразно использовать методы многофакторного планирования эксперимента, из которых наиболее распространённым считается полный факторный эксперимент. Метод полного факторного эксперимента дает возможность получить математическое описание исследуемого процесса в некоторой локальной области факторного пространства с учетом взаимовлияния факторов.

Проводился эксперимент типа $N = p^k$, где число факторов $k = 5$, число уровней $p = 2$, число опытов $N = 32$, число повторных опытов $m = 2$. При составлении плана проведения экспериментов (матрицы планирования) были учтены все возможные факторы взаимодействия. При расчете модели шероховатости поверхности количество факторов приняли $k = 4$.

После проведения опытов была выполнена статистическая обработка результатов. В результате мы получили регрессионные математические модели составляющих силы шлифования и шероховатости поверхности

Полученные регрессионные модели позволяют по допустимым значениям составляющих силы шлифования [2] выбрать оптимальные значения режимов обработки и характеристики инструмента.

Литература:

1. Пономарев, В.Б. Задачи оптимизации. Полный факторный эксперимент / В.Б. Пономарев, Лошкарев А.Б.// Математическое моделирование технологических процессов – Екатеринбург, 2006.

2. Носенко, В.А. Определение осевых перемещений при шлифовании торцов подшипниковых колец / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, В.Б. Светличная // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2010. - № 2. - С. 70-74.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПЛОСКИМ ВРЕЗНЫМ ШЛИФОВАНИЕМ

В.В. Ченин, В.А. Носенко,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Рассмотрен процесс шлифования титановых сплавов ВТ3-1 и ВТ22, сталей 40Х, Р6М3, 1Х18Н9Т и армко-железа кругами из карбида кремния и электрокорунда характеристик 54CF60L7В и 24AF60L7В.

При шлифовании с СОЖ [1] титанового сплава ВТ22 износ круга из карбида кремния в 1,7 раза больше, чем на титановом сплаве ВТ3-1 (рисунок 1, а), что свидетельствует о более высокой интенсивности самозатачивания абразивного инструмента на сплаве ВТ22. В связи с большим износом инструмента происходит большее разрушение рабочей поверхности круга. Соответственно шероховатость на сплаве ВТ22 на 25 % больше (рисунок 1, б)

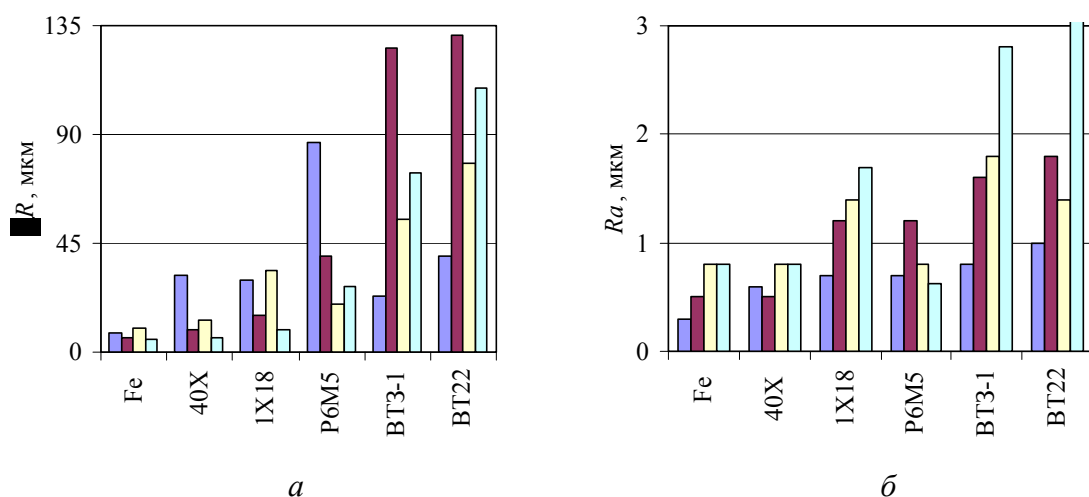


Рисунок 1 – Износ круга ΔR (а) и шероховатость обработанной поверхности Ra (б):

■ – СОЖ, 54С; ■ – СОЖ, 24А; ■ – всухую, 54С; ■ – всухую, 24А

Эти данные согласуются с результатами, полученными при шлифовании сплавов кругом из карбида кремния на керамической связке твёрдостью К [2]: износ на титановом сплаве BT22 в 1,6 раза выше, чем на сплаве BT3-1.

Как известно, при шлифовании титановых сплавов круги из электрокорунда на скоростях шлифования более 15 м/с применять не рекомендуется [2]. Поэтому, вполне закономерно, что при шлифовании титановых сплавов кругом из электрокорунда на скорости 35 м/с получены шлифовочные прижоги. Шероховатость поверхности на круге из электрокорунда по сравнению с кругом из карбида кремния при шлифовании сплавов BT22 и BT3-1 больше соответственно в 2,0 и 1,8 раза (см. рисунок 1).

Из всех рассмотренных металлов наилучшая обрабатываемость наблюдается у армко-железа кругами из электрокорунда.

При шлифовании армко-железа кругом из электрокорунда износ круга по сравнению с обработкой титановых сплавов снизился в соответственно в 21 и 22 раза. Снижается износ круга и при использовании в качестве абразивного материала карбида кремния. По сравнению с титановыми сплавами BT3-1 и BT22 износ круга из карбида кремния на армко-железе снизился соответственно в 3 и 5 раз. Из этого следует, что более чувствительным к обрабатываемому материалу является круг из электрокорунда.

Несмотря на снижение износа круга из карбида кремния, на поверхности армко-железа после шлифования образуется прижог. Поэтому круги из карбида кремния при шлифовании сплавов на основе железа применять в большинстве случаев не рекомен-

дуются. При шлифовании сталей 40X, 1X18H9T и P6M3 по сравнению с армко-железом износ круга из электрокорунда возрастает в пропорции 1:1,5:2,5:6,7. При шлифовании кругом из карбида кремния получена следующая пропорция износа – 1:4:3,8:6,7. Для всех рассмотренных металлов износ круга из электрокорунда меньше круга из карбида кремния. Для той же последовательности расположения металлов получены следующие значения относительной износостойкости круга из электрокорунда по отношению к кругу из карбида кремния: 1,3; 3,6; 2,0; 2,2. Наибольшее различие между абразивными материалами получено при шлифовании стали 40X.

Получаем, что на всех сталях износ круга из электрокорунда меньше, а шероховатость обработанной поверхности больше (кроме стали 40X) по сравнению с кругом из карбида кремния. При шлифовании титановых сплавов кругом из электрокорунда на всех сплавах обнаружен прижог. При шлифовании кругом из карбида кремния прижог обнаружен на армко-железе, стали P6M3 и более сильный – на стали 40X.

По износу круга из электрокорунда получена существенная разница между сталями. Для круга из карбида кремния существенной разницы между сталями не установлено.

Литература:

1. Саютин, Г. И. А.с. 810780 СССР, МКИ С 10 М 3/02. Смазочно-охлаждающая жидкость для шлифования титановых сплавов / Г. И. Саютин, В. А. Носенко, М. И. Ляпунов, К. Н. Бильдинов, Н. И. Егоров // Открытия и изобретения, 1981, №9.
2. Саютин, Г. И. Шлифование деталей из сплавов на основе титана / Г. И. Саютин, В. А. Носенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 80 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ И ПРЕРЫВИСТЫХ ОТВЕРСТИЙ

*В.А. Санинский, Я.Ю. Лачкова, Е.В. Осадченко,
Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета*

На погрешность растачивания коренных опор картеров дизелей многолезцовый борштанги и однорезцовый пиноли влияет множество конструкторско-технологических параметров, характеризующие элементы технологической системы [1].

Традиционно растачивание многорезцовой борштангой осуществляется в несколько этапов: черногового рабочего хода, соответствующего черновому растачиванию отверстий (Н12 до Н9); получистовое растачивание (с Н9 до Н8); чистовое растачивание, обеспечивающее достижение точности Н6 и шероховатости Ra 2,5. Окончательный размер растачиваемой поверхности, получаемый на последнем рабочем ходе, зависит от общего припуска на все проходы, количества проходов и минимально возможной толщине стружки $t_{\min} = 0,005$ мм, снимаемой на последнем рабочем ходе. Колебания припуска на рабочих ходах, связанные с погрешностью формы отверстия в заготовке при работе на настроенных станках изменяют глубину резания t и вызывают изменение диаметра обрабатываемого отверстия D на величину приращения ΔD в соответствии с зависимостью:

$$\Delta D = 2 \cdot C_y \cdot S^{yp} \cdot t^{xp} \cdot HB^m \cdot \left(\frac{1}{j_{ст.}} + \frac{1}{j_{инстр.}} + \frac{1}{j_{дет.}} \right); \quad (1)$$

где $j_{ст.}, j_{инстр.}, j_{дет.}$ – жесткость станка, инструмента, детали;

x_p, y_p, m – показатели степени;

C_y – коэффициент;

HB – твердость материала заготовки по Бриннелю.

При перекосе заготовки картера на базовых пальцах возникает неравномерность припуска по длине заготовки (рис. 1).

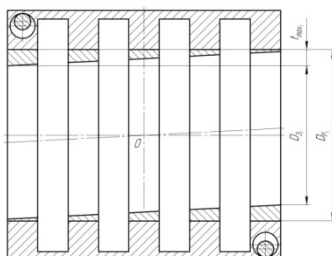


Рисунок 1 – Схема образования неравномерности припусков в ГПО: D_{31} – диаметр отверстия в заготовке перед расточкой, D_{p1} – диаметр отверстия в расточенном отверстия,

t_{\min} – минимальный припуск, t_{\max} – максимальный припуск

На рисунке 2 показаны схемы распределения припуска при растачивании коренных опор в тяжелых картерах дизелей 8ЧВН15/16 специальными станками, оснащенными шпинделями на выносных опорах. При переустановке заготовки картера с черногового борштангового станка (установ 1) на получистовой (установ 2) и чистовой обработки (установ 3) получаем $t_{\max 1}, t_{\max 2}, t_{\max 3}; \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – коэффициенты уточнения формы расточенных поверхностей. Расчеты показали, что при черновом растачивании диамет-

ра ГПО $D = 30$ Н6, получим по формуле (1) $\Delta D = 0,055$ мм, что превышает поле допуска на размер растачиваемого отверстия (0,013) мм более, чем в 4 раза. Это указывает на необходимость выполнения установа 2 с режимами получистового растачивания. Полученная погрешность формы расточенного отверстия меньше допуска на размер $0,009 < 0,013$ и соответствует уровню относительной геометрической точности А ГОСТ 24643-81. Чтобы получить более высокий уровень относительной геометрической точности требуется чистовое растачивание. Полученная погрешность формы расточенного отверстия меньше допуска на размер $0,003 < 0,013$ более чем в 4 раза и соответствует уровню относительной геометрической точности С ГОСТ 24643-81.

Для сравнения возможностей пиноли станка с многорезцовой борштангой произведем аналогичные расчеты по схемам рис. 3, б. На этом станке на установе 2 можно назначать меньше припуск на обработку, равный толщине слоя металла, срезаемого резцом $t_{\max 2} = 0,01 \dots 0,05$ мм и получить $\Delta D = 0,003$ уже на установе 2.

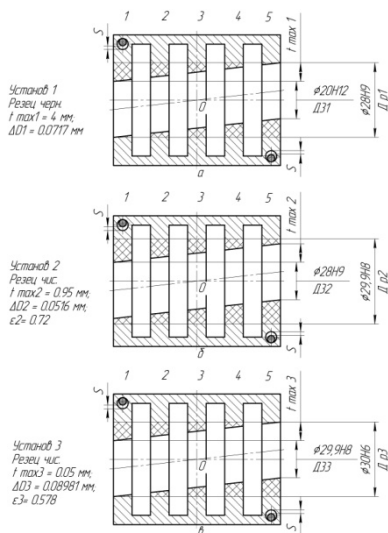


Рисунок 2 – Схемы расположения припусков в заготовке по отношению к оси борштанги пиноли при смене резцов: а – чернового; б – получистового; в – чистового

Литература:

1. Смольников, Н. Я. Специальные станки для растачивания глубоких прерывистых отверстий шпинделями на выносных опорах: монография / Н. Я. Смольников, В. А. Санинский. – Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 176 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА КОРПУСНЫХ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Т.С.Тарасова,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Качество отливок, изготовленных литьем под давлением, оценивают по четырем основным факторам: точности размеров, шероховатости поверхности, механическим свойствам и пористости.

Литье под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливается в камеру прессования специальной машины, а затем под действием поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковые каналы заполняет полость металлической пресс-формы, затвердевает под избыточным давлением и образует отливку. После затвердевания и охлаждения до определенной температуры из отливки сначала извлекаются стержни, а затем пресс-форма раскрывается и толкатели удаляют отливку из пресс-формы. От отливки отделяют литники и зачищают заусенцы.

Таким образом форма заполняется расплавом под действием внешних сил, превосходящих силы гравитации, а затвердевание отливки протекает под избыточным давлением.

Сочетание этих двух особенностей процесса позволяет получать отливки высокого качества. Чистая поверхность и точные размеры рабочей полости металлической пресс-формы, высокая скорость движения расплава позволяют резко сократить продолжительность заполнения, улучшить наполняемость и получить тонкостенные отливки сложной конфигурации с чистой поверхностью.

Внешнее давление на затвердевающий расплав и высокие скорости охлаждения его в металлической форме способствует измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств.

Исследования позволили установить решающее значение газового режима формы, системы ее вентиляции, тепловых и гидродинамических режимов процесса формирования отливок под давлением на их качество.

Металлическая форма - пресс-форма - практически негазопроницаема. При высоких скоростях впуска расплава в полость пресс-формы воздух, а также пары, газы,

продукты разложения смазочного материала, образующиеся при его взаимодействии с расплавом, не успевают полностью удалиться из пресс-формы за время ее заполнения расплавом, препятствуют заполнению пресс-формы и попадают в расплав. Это способствует образованию неслитин, неспаев, раковин и газовой пористости в отливках. Газовоздушная пористость уменьшает плотность отливок, снижает их герметичность и пластические свойства. Воздух, газы, продукты разложения смазочного материала, находящегося в порах отливки, затрудняют ее термическую обработку: при нагреве отливки газы расширяются, отливка коробится, на ее поверхности появляются пузыри.

Получение отливок без газовой и усадочной пористости является одной из важных проблем повышения качества.

Рассмотрим условия формирования отливки.

1. Тепловые условия

Повышение температуры расплава может увеличить усадочную пористость в отливке, привести к попаданию расплава в вентиляционную систему и ухудшению условий удаления воздуха и газов из пресс-формы, увеличению пористости отливок.

2. Заполнение формы расплавом

Для надежного исключения неслитин, неспаев в отливке необходимо заполнить форму за минимальное время. Однако пресс-форма газонепроницаема, и воздух и газы от смазочного материала удаляются из нее через вентиляционные каналы, размеры которых ограничены. Поэтому, чем меньше расхода расплава через питатель, тем более полно удаляются воздух и газы

3. Характер движения расплава в пресс-форме

Характер движения расплава в пресс-форме влияет на процесс удаления воздуха и продуктов разложения смазочного материала из пресс-формы, на образование в отливках воздушной и газовой пористости.

Заполнение полости формы осуществляется: сплошным ламинарным потоком при литье с малыми скоростями впуска; сплошным турбулентным потоком при литье со средними скоростями впуска; дисперсным потоком при литье с высокими скоростями впуска. При заполнении сплошным ламинарным потоком создаются условия для хорошего удаления воздуха и газов из пресс-формы, что способствует уменьшению пористости и газовых включений в отливках.

Отливка, полученная при режиме сплошного турбулентного потока, часто содержит крупные газовые пузырьки диаметром 1 мм и более, снижающие плотность и

герметичность отливки. При дисперсном заполнении воздушные и газовые включения остаются в отливке, образуя мельчайшую пористость.

При заполнении расплавом полости формы отливки сложной конфигурации все механизмы движения расплава могут реализовываться на разных этапах заполнения и на разных участках формы одновременно: на одних участках формы может образовываться дисперсный поток, на других - турбулентный, возможно образование и застойных зон, заполняющихся потоком расплава с малыми скоростями.

4. Газовый режим пресс-формы

Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении расплавом пресс-формы воздух и газы от разложения смазочного материала удалялись из нее.

$$\text{Критерий В.Н.Зеленова} \quad Z_{\Gamma} = V_{\Gamma} / V_{\text{в}} = 2 \cdot h_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \Gamma \cdot T_{\text{ф}} / (l_0 \cdot T_{\text{м}}) \quad (1)$$

показывает, что для отливки с равномерной толщиной стенок он зависит в основном от толщины стенки отливки, толщины слоя смазочного материала и его газотворной способности. На рис. 1 представлены зависимости критерия Z_{Γ} от определяющих его факторов - газотворности Γ и отношения $h_{\text{см}} / l_0$. Область, лежащая под кривой $Z_{\Gamma} = 0,1$, соответствует таким значениям факторов, когда смазочный материал практически не оказывает влияния на газовый режим формы. Во всех остальных случаях смазочный материал существенно влияет на объем газов, которые необходимо удалять из полости пресс-формы для получения качественной отливки.

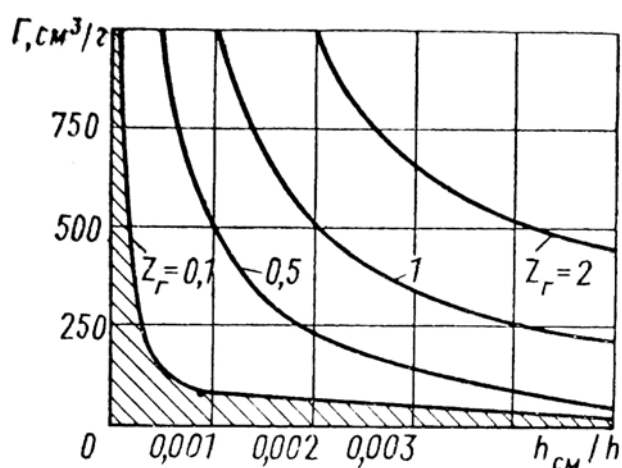


Рисунок 1 - зависимость критерия Z_{Γ} от газотворности Γ смазочного материала и отношения $h_{\text{см}}/h$; $h = l_0$

Воздух и газы, выделяемые из смазочного материала, удаляют из пресс-формы через вентиляционные каналы. Возможности вентиляционной системы пресс-формы можно характеризовать критерием ее вентилируемости:

$$B = \Sigma f_v / f_{вн} \quad (2)$$

Как правило, для большинства отливок и пресс-форм критерий $B \ll 1$. Этим и объясняется наличие газовой пористости в отливках под давлением.

Газы и воздух, не успевшие удалиться из пресс-формы и замешанные в расплав, под действием давления сжимаются. На стадии заполнения давление газа равно давлению в турбулентном или дисперсном потоке, а по окончании заполнения - давлению подпрессовки.

В. Н. Зеленов предложил уравнение, описывающее кинетику нарастания давления газа и воздуха в пресс-форме в процессе заполнения:

$$p = p_0(1 + Z_r)(1 - B)[\tau / (t_{зап} - \tau)], \quad (3)$$

где p_0 - начальное давление газа и воздуха в пресс-форме, $p_0 \approx 0,3$ МПа; τ - текущее время процесса заполнения; $t_{зап}$ - общее время заполнения пресс-формы расплавом.

Из выражения (3) следует, что в реальных условиях при литье под давлением практически невозможно получить отливку без воздушно-газовых включений. Поэтому для уменьшения их объема необходимо сжать воздух и газы в объеме затвердевающей отливки, что обеспечивают современные машины, в которых давление прессования достигает до 490 МПа.

Таким образом, для уменьшения газовой и воздушной пористости в отливках под давлением необходимо: повышать давление прессования; создавать рациональные конструкции литниковой и вентиляционной систем пресс-формы; выбирать оптимальные режимы литья - скорость прессования, температуры расплава и пресс-формы, давление прессования; а также применять специальные способы литья под давлением.

К числу специальных способов литья под давлением, направленных на уменьшение газовой и воздушной пористости в отливках, относят: литье с использованием вакуумирования пресс-формы, литье с регулированием состава газа в полости пресс-формы.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ФОТОАНАЛИЗА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ БИЕНИЯ ОПОРНЫХ ШЕЕК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА

*В.А. Санинский, Д.В. Потехин, М.П. Горшенина,
Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета*

Технология измерения размеров геометрических фигур под названием фотограмметрия может в корне изменить методологию контроля и измерений деталей машин после их механической обработки. Например, радиальное биение шеек валов раньше традиционно контролировали предельными калибрами–скобами и измеряли, например, с помощью стандартной индикаторной головки. Теперь можно контролировать и измерять, используя альтернативный метод: метод фотоанализа при помощи компьютерной техники. При этом, что особенно важно, для соблюдения технологической дисциплины, появилась возможность хранения и обработки данных на компьютере.

В ВПИ проводится апробация данного метода, который заключается в следующем: цилиндрическая деталь (распределительный вал двигателя ВАЗ) была установлена в центра. При помощи цифрового фотоаппарата было получено 6 снимков цилиндрической шейки диаметром 43,4±0,06 мм (по чертежу изготовителя). Измерения осуществлялись с поворотом детали на 360° через 60°. Данные передавались на ЭВМ, анализировались с помощью программного обеспечения и в результате получили отклонение от формы.

В результате исследования были получены значения биения цилиндрических шеек. Для первой и четвертой шейки диаметрами 45,9 мм и 45,0 мм соответственно величина биения составила 0,0759 мм. Для второй и третьей шеек диаметрами 45,6 мм и 45,3 мм величина биения составила 0,0506 мм. Для последней шейки диаметром 43,4 мм величина биения составила 0,0253 мм.

Была выявлена зависимость получаемых значений от фокусного расстояния и расстояния между матрицей фотоаппарата и измеряемым объектом.

Результаты эксперимента подтверждают возможность измерения геометрической формы деталей машин с точностью, которая характеризуется 1 микрометр на пиксель. Точность измерения может изменяться, применяя масштабный коэффициент, на-

пример 4 пикселя на один микрометр. Проводимые опыты в ВПИ указывают на возможность применения метода фотоанализа при измерении и контроле поверхностей типа коленчатых и распределительных валов их удобного осуществления в лабораторных и производственных условиях анализа погрешностей соосных поверхностей 6-о качества точности.

Таблица 1 – Результаты измерений

Номер Шейки	Номер Позиции	Замер 1 (пикс)	Замер 2 (пикс)	Замер 3 (пикс)	Среднее (пикс)	Среднее (мм)
1	1	307	308	308	308	7,7924
	2	307	309	309	308	7,7924
	3	310	311	311	311	7,8683
	4	311	312	311	311	7,8683
	5	310	311	311	311	7,8683
	6	308	309	309	309	7,8177
		Макс Значение (мм)	7,8683	Мин значение (мм)	7,7924	Разница (мм)
2	1	276	277	275	276	6,9828
	2	278	277	277	277	7,0081
	3	278	279	278	278	7,0334
	4	279	278	278	278	7,0334
	5	277	277	277	277	7,0081
	6	276	276	275	276	6,9828
		Макс Значение (мм)	7,0334	Мин значение (мм)	6,9828	Разница (мм)
3	1	268	268	269	268	6,7804
	2	269	270	270	270	6,831
	3	270	270	271	270	6,831
	4	270	270	270	270	6,831
	5	268	268	268	268	6,7804
	6	268	267	268	268	6,7804
		Макс Значение (мм)	6,831	Мин значение (мм)	6,7804	Разница (мм)
4	1	262	263	263	263	6,6539
	2	264	265	265	265	6,7045
	3	264	265	265	265	6,7045
	4	263	264	264	264	6,6792
	5	262	263	262	262	6,6286
	6	261	262	262	262	6,6286
		Макс Значение (мм)	6,7045	Мин значение (мм)	6,6286	Разница (мм)
5	1	256	256	255	256	6,4768
	2	257	257	257	257	6,5021
	3	257	257	257	257	6,5021
	4	257	258	257	257	6,5021
	5	256	256	257	256	6,4768
	6	257	257	256	257	6,5021
		Макс Значение (мм)	6,5021	Мин значение (мм)	6,4768	Разница (мм)

Литература:

1. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. // М.: Машиностроение. 1987. 352с.
2. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. // М.: Недра, 1984. 551 с.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ

В. П. Багмутов, В. Н. Тышкевич,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Трубопроводы из армированных пластиков (АП) применяются в различных отраслях, но их основные достоинства - высокие удельные прочность и жесткость, особенно важны для конструкций, критерием оптимизации которых является масса конструкции. Это, в первую очередь, - авиационная и космическая техника.

При сложившейся практике проектирования трубопроводов совокупность нагрузок, характеризующих заданный режим нагружения и статически неопределимую трубопроводную систему, учитывается только на этапе проверочного расчёта. Расчет на прочность включает два этапа. На первом этапе выбирают размеры поперечных сечений труб, исходя из условий производительности и прочности. На этом этапе еще неизвестны внутренние усилия, поэтому расчет ведется только по внутреннему давлению. На втором этапе расчета определяют внутренние усилия, возникающие от внешних воздействий, и производят проверку прочности в опасных сечениях [1-3]. В этой схеме не реализуется потенциальная возможность АП оптимизации структуры материала с учётом особенностей нагружения и структуры трубопровода.

Задача оптимального проектирования трубопровода, удовлетворяющего определённым критериям оптимальности, связана с поиском наилучших сочетаний механических свойств, расположения и ориентации армирующих элементов в каждой точке трубопровода, что приводит к локально и глобально неоднородной системе.

Конструктивное и технологическое разделение трубопроводов на участки, наличие прямолинейных и криволинейных участков, их соединений различными способами,

опор различных конструкций, трубопроводной арматуры так же вносят структурную неоднородность в проектируемую трубопроводную систему. Оптимальное проектирование трубопроводов из АП предполагает выделение варьируемых структурных параметров для двух уровней: структуры материала труб и структуры трубопроводной системы.

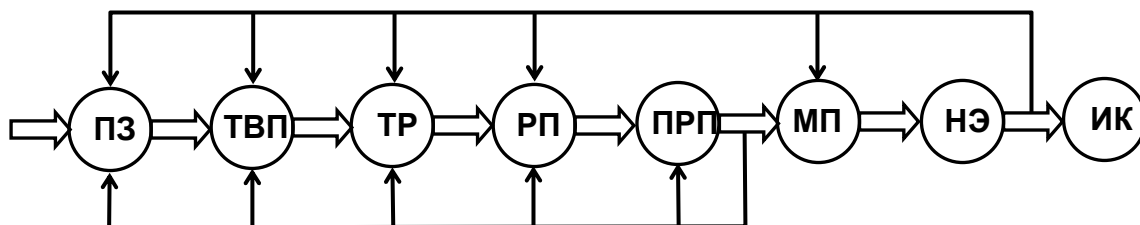


Рис. 1. Концептуальная схема системы оптимального проектирования трубопроводов из армированных пластиков

Связанность задачи определяется зависимостью величин внутренних силовых факторов в статически неопределимой трубопроводной системе от соотношения жесткостей участков, от структурных параметров трубопровода (жесткости, геометрии участков), а также зависимостью вектора возмущений (в частности, усилий от температурной самокомпенсации) от структурных параметров материала и трубопровода.

Ниже, в рамках подхода, описанного в работах [4, 5] применительно к системам проектирования оптимальных цельнокомпозиционных конструкций и к системам создания многоуровневых комплексов моделирования структуры и свойств материалов при технологических воздействиях рассматриваются особенности построения системы оптимального проектирования трубопроводов из АП, которая представлена как совокупность алгоритмически связанных функциональных блоков.

В соответствии с современными представлениями о поэтапном проектировании ответственных технических объектов на концептуальной схеме (рис. 1) выделены восемь основных блоков, выполняющих следующие задачи [5]: постановка задачи (ПЗ); построение теоретически возможного (идеального) проекта (ТВП); выбор технологии реализации проекта (ТР); разработка рабочего проекта (РП); проверочный расчёт свойств рабочего проекта (ПРП); изготовление на основе РП опытного изделия или материализация проекта (МП); организация и проведение натурального эксперимента (НЭ); изготовление конструкции (ИК).

Каждый функциональный блок поддерживается определённой совокупностью компьютерных подсистем в виде вспомогательных программ, информационной базы, системы визуализации результатов, экспертной системы оценки его деятельности и др.

На рис. 1 показаны в основном информационные (функциональные) связи и направление передачи информации из одного блока в другие. Они позволяют целенаправленно вносить коррективы во все подсистемы и вырабатывать компромиссные решения, в том числе и в постановочной части для создания окончательного варианта трубопровода [5].

В данной работе специально не выделены управляющие связи и устройства, которые определяют их передачу в блоки, поскольку рассматривается человеко-машинный вариант системы, как наиболее эффективный для решения плохо формализуемыми приёмами многих сложных вопросов проектирования трубопроводов из АП [5].

Блок ПЗ (постановка задачи). Постановка задачи на проектирование трубопровода включает техническое задание и основные требования к теоретически возможному (идеальному) проекту – наиболее полный учёт всех факторов, влияющих на свойства, напряжённо-деформированное состояние, прочность и долговечность проектируемого трубопровода; минимизация затрат на проектирование; разработка и апробация оптимальных вариантов технологий расчёта и изготовления; обоснование необходимости и уровня натурных экспериментов.

Достаточно общая постановка задачи может быть представлена следующим образом: при заданных параметрах рабочей среды, производительности трубопровода, при некоторых не вполне чётко заданных условиях на пространственную конфигурацию трубопровода, расположение и конструкцию опор, конструкцию соединений участков; вид исходных материалов и технологию изготовления требуется подобрать толщину стенки труб, структуру пакета слоёв (углы армирования, толщины и виды материала слоёв) по всей длине трубопровода, геометрические параметры криволинейных участков таким образом, чтобы:

- 1) поле напряжений было статически допустимым;
- 2) поле деформаций – кинематически допустимым;
- 3) выполнялся закон среды (уравнения связи между напряжениями, деформациями и структурными параметрами);
- 4) не нарушались условия прочности и технологические ограничения;
- 5) удовлетворялись требования оптимальности (предельно допустимая нагрузка, минимальная масса, стоимость и др.).

Отсюда следует, что спектр поддерживающих блок ПЗ программ может быть достаточно широким – от традиционных (при формальном подходе к решению оптими-

зационных задач, таких как необходимые уравнения, условия различного рода, целевые функции или функционалы), до специальных, ускоряющих решение при неформальном подходе [4].

Блок ТВП (построение теоретически возможного проекта). На данном этапе строится оптимальный теоретически возможный проект (условно – «идеальный проект») трубопровода. ТВП удовлетворяет необходимые условия поставленной задачи при наиболее полном учёте всех факторов, влияющих: на структуру и свойства материала, структурные параметры трубопровода; на напряжённо-деформированное состояние и прочность трубопровода в условиях характерного нагружения при эксплуатации. При построении ТВП не ограничивается свобода в выборе технологии математической реализации, не ставятся ограничения на математическую сложность двухуровневой оптимизации структуры материала и трубопровода.

Для решения сложной многоуровневой связанной задачи МДТТ оптимизации трубопроводной системы при построении ТВП необходима разработка идеального расчётно-моделирующего комплекса (ИРМК).

Сложной задачей при разработке ИРМК является выбор методов, вычислительных процедур и соответствующих программных продуктов для эффективной оптимизации функционалов и функций, определяющих качество проекта. Представление о характерных методах решения оптимизационных задач механики деформируемого твёрдого тела и в ряде случаев об их реализующих программах даётся, например, в монографиях, диссертациях и статьях [6-14]. Собственно программные продукты такого рода являются структурными составляющими ИРМК.

Блок ТР (выбор технологии реализации проекта). ИРМК включает наиболее полный и сложный комплекс математических моделей, из которых должен быть разработан рабочий расчётно-моделирующий комплекс (РРМК) для построения рабочего проекта трубопровода. Идеальный проект, как правило, трудоёмок в реализации, а соответствующие затраты при разработке и использовании часто не соразмерны поставленной цели. Поэтому основной процедурой для последующего построения рабочего проекта является выбор технологии реализации - выбор методов, вычислительных процедур и алгоритмов, соответствующих программных продуктов, операционных систем и аппаратных средств для эффективного решения поставленных задач. Здесь же производится выбор технологии изготовления труб. Необходимая поддержка операций в блоке ТР при выборе возможных видов армирующих элементов, матриц, технологии соединения армирующих элементов с матрицей, технологии изготовления труб осуще-

ствляется на основе компьютерного варианта справочника технологий изготовления локально и глобально неоднородных труб и системы экспертной оценки эффективности и стоимости. Вариант алгоритма для РРМК с использованием структурно-феноменологического подхода приведен в [14].

Блок РП (построение рабочего проекта). Рабочий проект трубопровода строится с использованием РРМК. В соответствии со схемой рис.1 с помощью итерационных процедур расчёта и усложнения расчётных моделей реализуется дальнейшее движение рабочего проекта к идеальному теоретически возможному оптимальному проекту трубопровода. Такой проект трубопровода целесообразно называть не оптимальным, а рациональным, так как он будет соответствовать реально достижимой в настоящее время полноте и строгости выполнения требований в постановке задачи с помощью выбранных технологий, необходимых упрощений, перестройке отдельных элементов проекта и т.д. В этой схеме мы имеем дело не с теоретически возможным оптимальным проектированием трубопровода, а с проектированием рациональным в рамках ограничений технологии реализации проекта.

Блок ПРП (проверочный расчёт рабочего проекта). Рабочий проект трубопровода строится с использованием РРМК, на основании рабочих математических моделей и методов расчёта и свойства рабочего проекта трубопровода неизбежно будут отличаться от свойств идеального проекта. Поэтому расчётная проверка свойств рабочего проекта в блоке ПРП перед изготовлением трубопровода закономерна. Последняя даёт возможность оперативно вносить коррективы во все подсистемы, включая и постановочную часть, организовывать итерационные процедуры для уточнения параметров структуры материала и трубопровода.

Расчётной основой проверочного расчёта трубопровода служат конечноэлементные модели. Обзор программ расчёта трубопроводов, основанных на МКЭ, представлен, например, в [8].

Блок МП (материализация рабочего проекта). Какими бы ни были сложными вычислительные эксперименты, они не могут в полной мере учесть все нюансы изменения свойств АП в процессе изготовления труб, особенности сборки трубопровода. Поэтому столь важна опытная апробация рабочего проекта (блок МП). Разработка технологии изготовления труб с заранее заданными свойствами в каждом малом объёме представляет одну из наиболее серьёзных проблем. Она включает в себя разработку специализированных программ и систем управления для решения задачи оптимизации технологических параметров, в том числе для качественного соединения компонентов

АП и уменьшения негативных моментов, сопутствующих данной технологии изготовления труб.

Блок НЭ (натурный эксперимент). Заключительный этап в системе связан с подготовкой, проведением и анализом натурального эксперимента изготовленного трубопровода. Именно здесь можно дать окончательную оценку свойств реальной конструкции и выбранной технологии реализации поставленных задач. В связи с этим большое значение в блоке НЭ имеют системы сбора и обработки экспериментальных данных, а также формулирования интегрального критерия качества.

Литература:

1. Стасенко, И. В. Расчет трубопроводов на ползучесть/ И. В. Стасенко. – Машиностроение, 1986. – 256 с.
2. Тышкевич, В. Н. Расчет и рациональное проектирование трубопроводов из армированных пластиков / В.Н. Тышкевич//Конструкции из композиционных материалов.- 2011. № 4. – С. 14-18
3. Куликов, Ю. А. Механика трубопроводов из армированных пластиков/ Ю. А. Куликов, Ю. В. Лоскутов: Монография.- Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. - 156 с.
4. Багмутов, В.П. Система создания оптимальных цельнокомпазитных конструкций/ В.П. Багмутов, Д.В. Багмутов //Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2005, № 3.- С. 64-71
5. Багмутов, В.П. Компьютерное моделирование процессов обработки и получения материалов в высокоэнергетических системах: монография/ В.П. Багмутов, И.Н. Захаров.- Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011.-160 с.
6. Багмутов, В. П. Расчет и рациональное проектирование криволинейных труб из армированных пластиков: монография/ В. П. Багмутов, В. Н. Тышкевич, В. Б. Светличная; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. Волгоград, - 2008. - 158 с.
7. Образцов, И. Ф. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов/ И. Ф. Образцов, В. В. Васильев, В. А. Бунаков – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
8. Багмутов, В.П. Обзор методов и программ расчёта трубопроводных систем / В.П. Багмутов, В.Н. Тышкевич // Известия ВолгГТУ. Серия "Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении". Вып. 3 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2009. - № 11. - С. 109-112.

9. Брызгалин, Г.И. Проектирование деталей из композиционных материалов волокно-вой структуры/ Г.И. Брызгалин - М.: Машиностроение, 1982.- 84 с.
10. Багмутов, В.П. Метод согласованного проектирования композитных тел: обобщения, обоснования, оценки/ В.П. Багмутов // Механика композитных материалов.- 1985, № 3.- С. 475-485
11. Хазиев, А. Р. Оптимальное проектирование композитных элементов конструкций по условиям прочности, жёсткости и устойчивости: Дис. ... канд. техн. наук/ А. Р. Хазиев – М., «МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2009. – 207 с.
12. Смердов, А. А. Разработка методов проектирования композитных материалов и конструкций ракетно-космической техники: 05.07. 02: 05.02. 01: Дис... д. т. н / А. А. Смердов МГТУ им.Н.Э. Баумана.- Защищена 11.10. 2007.- М., 2007.- 410 с.
13. Зайцев, Г. П. Рациональное проектирование криволинейных перекрестно армированных труб из стеклопластика/ Г. П. Зайцев, В. Н. Тышкевич// Механика композитных материалов. - 1992. - № 4. – С. 470 - 475
14. Багмутов, В.П. Общая схема рационального проектирования трубопроводов из армированных пластиков / В.П. Багмутов, В.Н. Тышкевич, В.Б. Светличная // Известия ВолгГТУ. Серия "Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении". Вып. 3: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2009. - № 11. - С. 112-116

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ ПРИ ОБРАБОТКЕ В КУЛАЧКОВОМ ПАТРОНЕ

В. А. Носенко, А. А. Копецкий, В. Н. Тышкевич, К. В. Худяков ,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

При механической обработке подшипниковых колец необходимо учитывать упругие деформации от действия усилий резания и зажима. Погрешности формы кольцевых деталей от упругой деформации во многих случаях значительно превышают погрешности, вызванные биением шпинделей, неточностью установки и другими факторами. Опыт изготовления прецизионных подшипников и подшипников малой жестко-

сти показывают, что современная технология шлифовальной обработки не может разрабатываться без учета жесткости деталей и возможной деформации в процессе обработки.

Деформация кольца в осевом направлении приводит к нарушению плоскостности торцов, в радиальном направлении – к некруглости. Осевые деформации наиболее характерны для колец упорных подшипников, так как жесткость в осевом направлении значительно меньше жесткости колец в радиальном направлении; для колец радиальных подшипников, наоборот, характерны радиальные деформации.

При шлифовании внутренней поверхности подшипниковых колец закреплённых в цанговых зажимных устройствах и патронах (рис. 1), усилия зажима P_1 и резания P_2

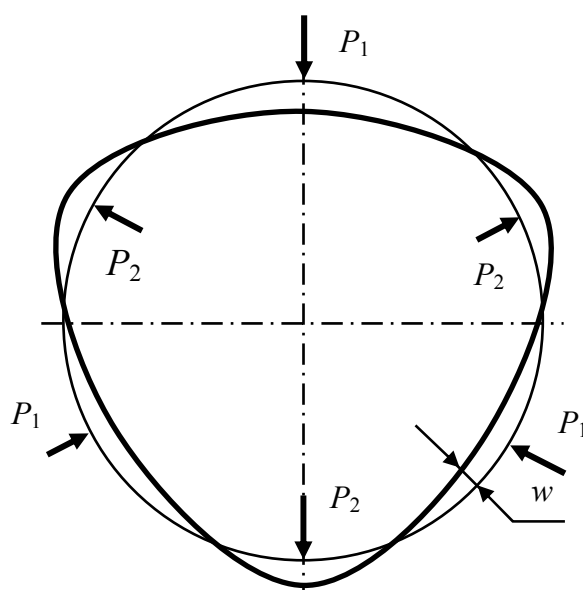


Рисунок 1 - Схема деформаций кольца при шлифовании внутренней поверхности в трёхкулачковом цанговом зажимном устройстве

вызывают радиальные упругие деформации колец. Внутренняя поверхность кольца обрабатывается в деформированном состоянии, и после снятия усилий зажима приобретает некруглость, величина которой определяется упругой деформацией кольца. Величины допустимых усилий зажима и резания определяются из ограничения радиальных перемещений w по допускам на некруглость внутренней поверхности подшипниковых колец.

Цель исследований заключалась в получении расчётных формул для определения радиальных перемещений от усилий зажима и резания, а также допустимых величин этих усилий.

Выражение для максимального радиального перемещения от усилий зажима кольца закреплённого в трёхкулачковом цанговом зажимном устройстве (рис. 1) получено в [1]:

$$w = \frac{0,01588P_1 r^3 I_{zc}}{EI_z I_y},$$

где I_{yc} , I_{zc} , I_y , I_z , I_{yczc} – осевые и центробежный моменты инерции относительно главных центральных осей y , z и центральных осей в плоскости кольца y_c , z_c ; E , G – модули нормальной и касательной упругости материала кольца.

Для исследуемого наружного кольца конического однорядного роликоподшипника У-2007122А.01 с геометрическими характеристиками: $r = 80,75$ мм; $I_{zc} = 16664$ мм⁴; $I_z = 17555$ мм⁴; $I_y = 1193$ мм⁴ получена величина максимального радиальных перемещений от усилий зажима P_1 :

$$w = \frac{0,01588P_1 \times 80,75^3 \times 16664}{2,1 \times 10^5 \times 17555 \times 1193} = 3,3 \times 10^{-5} P_1.$$

При вычислении силу подставляем в H , а прогиб получим в мм.

В усовершенствованном зажимном патроне со спаренными кулачками усилие зажима передается кольцу в шести точках. Схема нагружения показана на рис. 2.

На рисунке обозначено P – усилие приложенное к ползуну со спаренными кулачками. Составляющие этого усилия передаваемые на кольцо будут равны: $P_1 = 0,5P \cos(0,5\beta)$; $P_2 = 0,5P \sin(0,5\beta)$.

Диаметральное сечение, проходящее через любую точку А (см. рис. 2), дает ось симметрии системы. В этих сечениях не возникают кососимметричные внутренние силовые факторы, в данном случае поперечное усилие равно нулю. Из трех лишних неизвестных нужно определить два: изгибающий момент X_1 и продольное усилие X_2 (рис. 3).

Выделим элемент кольца двумя радиальными сечениями, проходящими через соседние точки А (см. рис. 2). Найдем осевые силы X_2 из условия равновесия – суммы проекций сил на вертикальную ось:

$$-2X_2 \sin 60^\circ + 2P_2 \sin \frac{\beta}{2} + 2P_1 \cos \frac{\beta}{2} = 0,$$

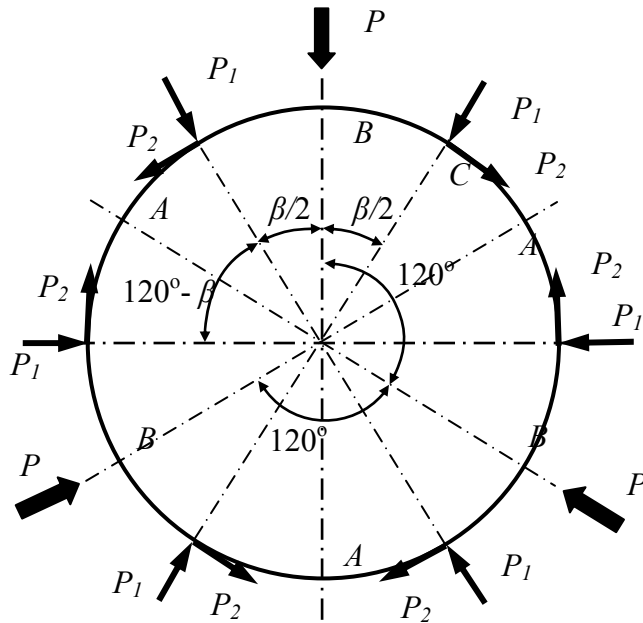


Рисунок 2 – Схема нагружения кольца усилиями зажима

$$X_2 = -1,555 \left(P_2 \sin \frac{\beta}{2} + P_1 \cos \frac{\beta}{2} \right) = -1,555 \left(0,5P \sin^2 \frac{\beta}{2} + 0,5P \cos^2 \frac{\beta}{2} \right) = -0,577P.$$

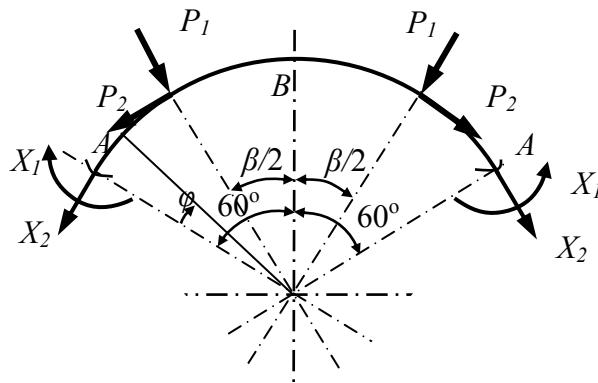


Рисунок 3 – Схема нагружения выделенного элемента кольца

Изгибающие моменты X_1 определим из условия отсутствия взаимного угла поворота сечений в местах разреза, которое представим в виде канонического уравнения: $\delta_{11} X_1 + \delta_{1P} = 0$. Здесь $\delta_{11} = \frac{2r}{E \cdot I_{yc}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M'_{yc} M'_{yc} d\varphi$, где $M'_{yc} = 1$ – изгибающий момент в текущем сечении рассматриваемого элемента кольца от единичных моментов $X_1 = 1$; M^P_{yc} – изгибающий момент от внешней нагрузки и X_2 , который согласно рис. 2 определяется по участкам.

На 1-м участке $0 \leq \varphi \leq \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right)$: $M_{yc1}^P = -X_2 \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi) = 0,577P \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi)$;

на 2-м участке $\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right) \leq \varphi \leq \frac{\pi}{3}$:

$$M_{yc2}^P = -X_2 \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi) + P_2 \cdot r \cdot \left(1 - \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{3} + \frac{\beta}{2}\right)\right) + P_1 \cdot r \cdot \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{3} + \frac{\beta}{2}\right).$$

Изгибающий момент будет равен: $X_1 = -\frac{\delta_{1P}}{\delta_{11}} = -\frac{3Pr}{2\pi}(0,1045 + A_1 + A_2)$.

Здесь обозначено:

$$A_1 = 0,5 \sin \frac{\beta}{2} \left\{ \frac{\beta}{2} - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \left[0,866 - \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right)\right] + \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \left[0,5 - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right)\right] \right\};$$

$$A_2 = 0,5 \cos \frac{\beta}{2} \left\{ -\cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \left[0,5 - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right)\right] - \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \left[0,866 - \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{2}\right)\right] \right\}$$

Радиальные перемещения в любой точке на центральной оси, проходящей через центры тяжести поперечных сечений кольца, в соответствии с методом Мора будут определяться по формуле [2]:

$$w = \frac{r \cdot I_{zc}}{3EI_z I_y} \sum_n \int_{\varphi} M_{yci} \cdot M'_{yci} d\varphi,$$

где M'_{yci} – изгибающие моменты от действия единичной силы на i -м участке в основной системе; M_{yci} – изгибающие моменты на i -м участке в эквивалентной системе.

Вычисление перемещения в т. С (см. рис. 2) при $\beta = 56^\circ$ для исследуемого кольца У-2007122А.01 произведено с использованием программы MATHCAD: $w = 0,2 \times 10^{-5} P$. Сопоставление с выражением, полученным выше, для трехкулачкового патрона показывает, что использование усовершенствованного патрона уменьшает максимальное радиальное перемещение в 16,5 раз. Полученное выражение позволяет по допуску на некруглость определять величины допускаемых усилий зажима.

Литература:

1. Копецкий, А.А. Определение радиальных перемещений при закреплении подшипниковых колец в трёхкулачковом патроне / А.А. Копецкий, В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 6 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 12. - С. 8-10.
2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т. 1/ Под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко – М.: Машиностроение, 1988. – 832 с.

ШПУЛИ НА ГИБКИХ ОСНОВАХ, СПОСОБ И УСТРОЙСТВА ИХ НАМОТКИ

А.В. Трегубов, О.М. Ладыгина, Д.А. Денисов, М.В. Дмитриев, О.И. Дугин,

И.С. Лавриненко, П.Л. Матвейчук, Р.А. Новиков, И.В. Попов,

Е.И. Румянцев, Ф.В. Спольников,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

На предприятиях ряда отраслей используются шпульные станки для наматывания кольцевых обмоток моделей СНТ-1, СНТ-1,5, СНТ-3У и их модификации [1]. Шпули запаса провода для станков этого типа выполняют в виде полых спиралей обмоточных проводов, намотанных с плотным шагом. Для получения запаса провода большей длины спирали наматывают многослойными, а также в несколько проводов одновременно.

Съем спирали с оправки и установка спиральных шпуль запаса провода в трубчатый челнок намоточного станка требует от оператора очень высокой точности работы, особенно для многозаходных, т.е. навитых в несколько проводов шпуль. Многозаходные полые шпули требуют чрезвычайно бережного обращения во время их снятия с оправки и переноса в челнок и не подлежат промежуточному хранению ввиду расслаивания витков соседних спиралей.

Высокая трудоемкость заправки намоточных станков спиралью запаса провода, особенно навитой из нескольких проводов, поставила задачу создания новой конструкции шпули, свободной от указанных недостатков.

Для решения этой задачи предложена конструкция шпули, имеющая постоянную гибкую основу, выполненную в виде отрезка капроновой монопнити круглого сечения. Спиральный запас провода при его заправке в челнок намоточного станка не снимают с капроновой основы. При этом шпуля самого малого диаметра, навитая в несколько проводов одновременно или многослойная, легко устанавливается в челнок, может быть намотана на отдельном рабочем месте, сохраняется после намотки любое время [2].

Для изготовления предложенных гибких шпуль разработан новый способ, не требующий применения челночных устройств, механизмов раскладки, кинематически связанных со шпинделем, создания натяжения основы при наматывании.

Способ заключается в том, что гибкую основу шпули изгибают и вращают вокруг ее изогнутой оси, при этом обмоточный провод направляют на основу из неподвижной точки или по касательной к цилиндрической поверхности. Это позволяет получить обмотку на гибкой основе как с постоянным, так и с переменным шагом, изменяющимся по необходимому закону [3].

В результате проведенного исследования установлены параметры двух практически важных схем наматывания, показанных на рис. 1, 2. На рис. 1. приведена схема наматывания провода самораскладкой. Провод наматывается на изогнутую по радиусу основу из неподвижной центральной точки с постоянным минимальным шагом $h=d$. На рис. 2 приведена схема наматывания, обеспечивающая постоянный шаг $h>d$; при $h=nd$ можно вести намотку спирали в n проводов одновременно.

Предложенный метод позволил отказаться от сложного намоточного оборудования, заменив его простейшими устройствами [3]. На рис. 3 показана установка, реализующая новый метод наматывания. Скорость вращения гибкой основы – от 9000 до 11000 1/мин. Длина шпули не ограничивается. Установка успешно эксплуатируется на ряде предприятий РФ.

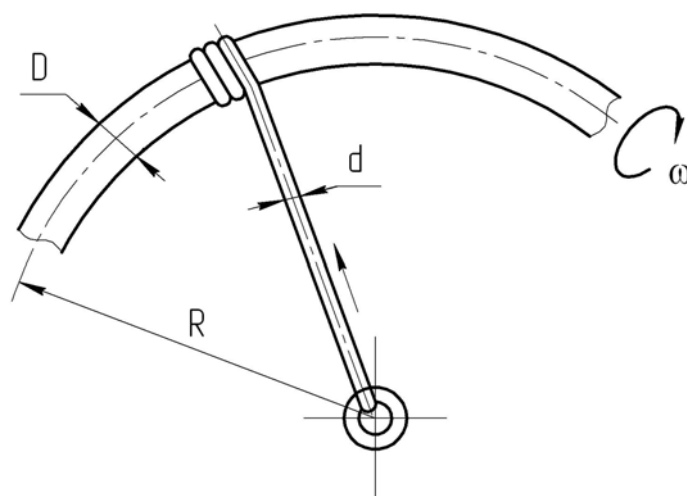


Рисунок 1 - Схема наматывания провода на изогнутую основу из неподвижной центральной точки

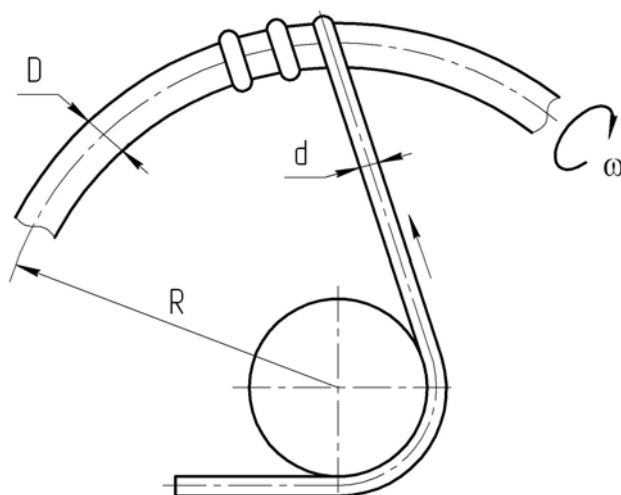


Рисунок 2 - Схема наматывания провода на изогнутую основу с прямого кругового цилиндра

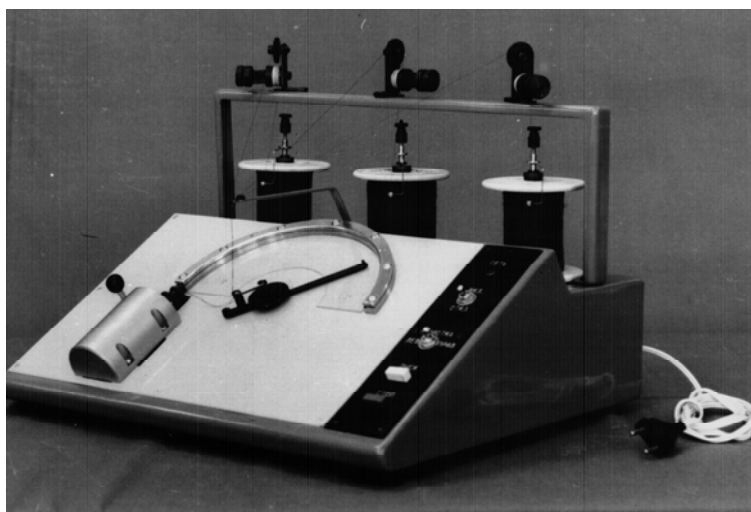


Рисунок 3

Литература:

1. Трегубов, А.В. Кольцевое наматывание тонкими проводами обмоток малогабаритных кольцевых магнитопроводов / А.В. Трегубов, О.М. Ладыгина // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. - № 7. – С. 8 – 12.

2. А. с. 1086471 СССР, МКИ НО1 F 41/08. Устройство для намотки провода на кольцевой сердечник / А.В. Трегубов, В.Г. Симоненко (СССР). - №3336277/24-07; заявл. 09.09.81; опубл. 15.04.84., Бюл. № 14.

3. А. с. 1256103 СССР, МКИ НО1 F 41/08. Способ намотки длинномерного материала на гибкую основу и устройство для его осуществления / А.В. Трегубов, В.Г. Симоненко (СССР). - № 3365064/24-07; заявл. 11.12.81; опубл. 07.09.86., Бюл. № 33.

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В.А. Санинский, К.В. Алексеева,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Технический прогресс отраслей промышленности и развитие науки требуют непрерывного повышения точности измерения физических величин. Оптические и оптико-физические методы измерения применяются в машиностроении и приборостроении для контроля наиболее точных деталей, при сборке прецизионных узлов и т. д. К оптическим методам измерения относится контроль отклонений формы и размеров деталей с помощью оптических систем и автоколлиматоров.

При методе автоколлимации для контроля отклонений от прямолинейности используют автоколлиматор. Автоколлиматор представляет собой юстировочный прибор, разновидность коллиматора с присоединённым к нему автоколлимационным окуляром для освещения сетки и наблюдения её отражения от зеркала, установленного на объекте.

При контроле прямолинейности с помощью автоколлиматора на одном конце направляющей жестко крепят автоколлиматор. Он является как источником задающего изображения сетки, так и устройством, принимающим это изображение, отраженное от зеркала. В начальный момент зеркало, устанавливают на универсальный мостик, при этом оптическая ось прибора параллельна направляющим. Задающее и принятое изображение сеток должны совпадать. Мостик перемещают вдоль направляющих с определенным шагом, но при этом выполняется не менее десяти замеров. При перемещении мостика определяют величину несовпадения указанных сеток, возникающего вследствие наклона зеркала из-за непрямолинейности направляющей. Точность измерения до 0,01 мм на 1 м длины.

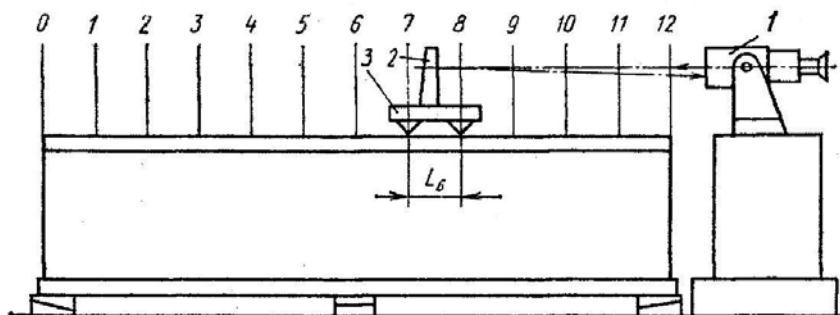


Рисунок 1. Схема контроля прямолинейности направляющих с помощью автоколлиматора:

1- визирная труба автоколлиматора; 2 – зеркало; 3 – мостик

По полученным данным строится график отклонения от прямолинейности.

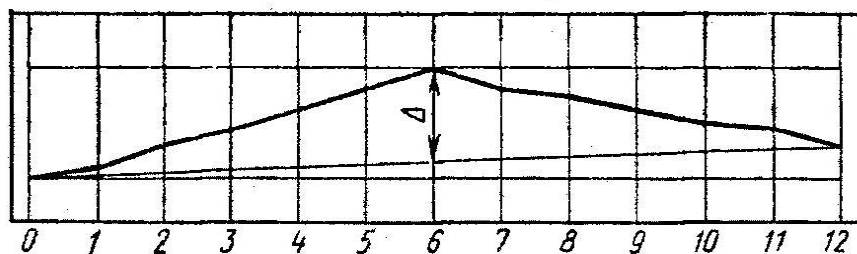


Рисунок 2. График контроля прямолинейности направляющих с помощью автоколлиматора

Контроль отклонения от плоскостности ведут аналогично определению отклонения от прямолинейности с тем отличием, что замеры осуществляют не в одном, а в нескольких направлениях. [2]

Распределительные валы содержат несколько десятков контролируемых параметров. Такие параметры как: диаметры и длины; геометрия элементов; отклонение формы и позиционирования; углы; наружная резьба; контур сквозного отверстия можно контролировать с помощью оптических сканирующих систем. Использование при оптическом сканировании телецентрической оптики, которая позволяет получать изображения с минимальной дисторсией и решает проблемы целого ряда оптических искажений, присущих обычным линзам.

В основе измерений площади поверхности образца чаще всего лежит теневой метод. В плоскости фотоприемника формируется изображение проекции исследуемого объекта. Изображение является бинарным: либо затемненный участок, либо освещенный параллельным пучком излучения.[1] В методике [1] представлен способ определения размеров оливок по площади ее тени, однако данных о надежных измерениях по-

верхностей 6-го -7-го квалитетов нет. Тем не менее уже сегодня этот метод, при высокой культуре производства, возможно позволит производить измерения заготовок типа поковок распределительного вала без применения контактных средств контроля.

Перечень используемой литературы:

1. Агапов М. Н., Антонов С. М., Тищенко А. И. Оптические методы контроля отливок / М. Н. Агапов, С. М. Антонов, А. И. Тищенко. – Ползуновский вестник № 2 (ч. 2), 2005. – 124 - 131 с.
2. Гусев А.А. Технология машиностроения (специальная часть) / А. А. Гусев. - М.: Машиностроение, 1986. - 127 с.
3. Санинский, В. А. Контроль отклонений от соосности коренных опор тяжелых дизелей / В. А. Санинский, В. М. Гребнев // Технология машиностроения. – 2004. – № 1. – 40 – 43. с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗГОННОЙ И ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЕЙ ИСПЫТАНИЕМ В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

*П.А. Кулько, А.П. Кулько, А.В. Попов, В.В. Павлов,
Волжский политехнический институт (филиал)*

Волгоградского государственного технического университета

Движение автомобиля в транспортном потоке требует от водителя выполнения определённых требований к техническому состоянию машины и к правилам вождения. Например, недостаточное ускорение при разгоне нарушает дистанцию в потоке движения и создаёт опасность совершения дорожно-транспортного происшествия (ДТП). В случаях при обгоне с выездом на полосу встречного движения, при смене полосы движения, выхода из опасных ситуаций, преодоления крутого подъёма, трогания с места. Поэтому показатели разгонной динамики (ускорение разгона j_p , а также и эффективная мощность двигателя N_e), коэффициент сцепления шин с дорогой ϕ должны проверяться и регламентироваться при проверке технического состояния.

Проверка технического состояния автомобилей в нашей стране регламентируется ГОСТ Р 51709 – 2001 Автотранспортные средства. Требования безопасности к тех-

ническому состоянию и методы проверки. Изменение № 1. Поправка ИУС 9 – 2002. Поправка ИУС 4 – 2007. Поправка ИУС 9 – 2007 и дополнена Постановлением Правительства Российской Федерации «Об утверждении правил проведения технического осмотра транспортных средств».

Рассмотрим влияние нормативных проверяемых параметров тормозной системы, двигателя и шин на поведение автомобиля в транспортном потоке, включённых в изменённую диагностическую карту транспортного средства согласно Приложению № 2 Постановления Правительства РФ.

Рабочая тормозная система проверяется по семи показателям: удельная тормозная сила (п.101), удельная тормозная сила стояночной тормозной системы (п. 102), коэффициент неравномерности тормозных сил колес (п.103), герметичность тормозного привода (п.104), манометр, система сигнализации (п.105), давление сжатого воздуха (п.106), состояние элементов тормозных систем (п.106), тормозной путь (п.107). Исключён показатель – установившееся замедление, который находился в предыдущем варианте действующей диагностической карте. Согласно ГОСТ Р 51709 – 2001 существующие методы испытаний допускают проверку тормозной системы на тормозных барабанах и в дорожных условиях при торможении легковых, грузовых автомобилей и автобусов при скорости 40 км/ч при этом транспортное средство не должно ни одной своей частью выходить из нормативного коридора движения шириной 3 м.

Существующие диагностические стенды для оценки технического состояния тормозных систем на станциях технического осмотра не могут дать объективные показатели поведения автомобиля в транспортном потоке, так как не соответствуют условиям эксплуатации автомобилей в дорожных условиях. Например, по коэффициенту сцепления колеса, по пятну контакта колеса автомобиля с приводным барабаном стенда, по начальной скорости торможения, которая на стенде составляет всего от 2,2 до 4,4 км/ч.

При проверках на стендах допускается относительная разность тормозных сил колес оси (в процентах от наибольшего значения) для осей АТС с дисковыми колесными тормозными механизмами не более 20 процентов и для осей с барабанными колесными тормозными механизмами не более 25 процентов.

В практике указанные результаты регулировки не обеспечивают требования устойчивости автомобиля по ширине тормозного коридора (3м) при торможении.

Наиболее объективным оценочным методом тормозной динамики транспортных средств является испытание в дорожных условиях. Существенным недостатком

ГОСТ Р 51709 – 2001 является отсутствие указаний по применению определённых приборов для измерения тормозного пути и установившегося замедления, требований к мерному дорожному участку. В результате при отсутствии стендов для проверки тормозной системы (например, в районных городах) проверка производится формально по субъективной оценке проверяющего инспектора.

Двигатель по изменённой и дополненной диагностической карте (раздел 600) проверяется по четырём показателям: содержание СО и СН; дымность дизельного двигателя; система питания; система выпуска. Но это только экологические показатели, а в транспортном потоке необходимо знать разгонные характеристики, которые обеспечиваются его текущей мощностью. Например, время разгона автомобиля ВАЗ – 11174 (Калина) до 100 км/ч должно составлять 12,2 с, для ВАЗ – 2114 – 13,2с, ВАЗ – 21081 – 20с.

На кафедре «Автомобильный транспорт» Волжского политехнического института разработана методика оценки технического состояния автомобиля проведением испытаний на мерной площадке. Автомобиль разгоняется до скорости 40 км/ч, а затем тормозится.

Длина разгонной полосы рассчитывается для автомобилей с минимальной допускаемой величиной ускорения, например, $j=1,4 \text{ м/с}^2$, тогда разгонная полоса составит 41м. Тормозная часть площадки должна иметь общую длину наибольшего для автомобиля тормозного пути. Вдоль оси наносится тормозной коридор шириной 3м в соответствии с ГОСТ Р 51709 - 2001. Шероховатость поверхности площадки подготавливается с нормативным коэффициентом сцепления новых шин с дорожным покрытием, например, $\varphi = 0,7$.

Испытания автомобиля выполняют водитель и испытатель, который устанавливает прибор «Эффект», предназначенный для проверки тормозных систем грузовых, легковых автомобилей и автобусов при проведении государственного технического осмотра в соответствии с требованием ГОСТ Р 51709 – 2001 (Таблица 1б - Использование показателей эффективности торможения и устойчивости АТС при торможении при проверках в дорожных условиях).

Прибор определяет: установившееся замедление при торможении, значение усилия нажатия на педаль тормоза, длину тормозного пути, время срабатывания тормозной системы, начальную скорость торможения и производит пересчет нормы тормозного пути к реальной начальной скорости торможения.

Для проверки эффективности метода были выполнены экспериментальные испытания трех автомобилей (ВАЗ-21081, ВАЗ-11174, ВАЗ - 2114) на мерной площадке Волжского политехнического института с ровным, сухим, чистым асфальтобетонным покрытием.

Технические данные условий испытания автомобилей (нормативные) сведены в табл.1.

Таблица 1 - Технические данные испытываемых автомобилей (нормативные)

Параметры автомобиля		ВАЗ-21081 (год выпуска 1988)	ВАЗ-11174 (год выпуска 2010)	ВАЗ - 2114 (год выпуска 2006)
1. Тип автомобиля		легковой, карбюр.	легковой, инжектор.	легковой, инжектор.
2. Полная масса	m_a , кг	1325	1228	1410
3. Мощность двигателя	N_e , кВт	39,6	65,5	57,2
4. Расстояние от центра масс до ведомой оси	a , м	1,2	1,284	1,2
5. База автомобиля	L , м	2,46	2,47	2,46
6. Длина разгонной площадки	S_p , м	41	41	41
7. Время срабатывания тормозной системы	t , с	0,6	0,6	0,6
8. Замедление автомобиля при торможении	J_T , м/с ²	5,8	5,8	5,8
9. Тормозной путь	S_T , м	14,7	14,7	14,7
10. Линейное отклонение при торможении.	$S_{л}$, м	0,7	0,7	0,7

Полученные показатели при испытании позволяют рассчитать мощность на колесах, коэффициент сцепления колеса с дорогой, ускорение автомобиля при разгоне. Мощность на колесах автомобиля рассчитывается по формуле, кВт [1]:

$$N_k = m_a \cdot j_m \cdot v_a \cdot a / 10^3 L, \quad (1)$$

где m_a - масса автомобиля, кг; a - расстояния от центра масс до ведомой оси, м; L - база автомобиля, м; v_a - начальная скорость автомобиля; j_T - замедление автомобиля, измеренное прибором «Эффект» при торможении, м/с².

Коэффициент сцепления колеса с дорогой находим по формуле:

$$\varphi = j_T / g, \quad (2)$$

где g – ускорение силы тяжести, $g=9,81 \text{ м/с}^2$; j_T – замедление автомобиля, замеренное прибором «Эффект» при торможении, м/с^2 .

Мощность двигателя определяется с учетом коэффициента полезного действия:

$$N_{\text{дв}} = N_k / \eta, \quad (3)$$

где η – КПД механизма трансмиссии $\eta \approx 0,92 \dots 0,93$.

Полученные расчетом величины $N_{\text{дв}}$ и φ проверяем на соответствие нормативным показателям (принятым по наблюдениям):

$$\Pi_N = N_{\text{дв}} / N_{\text{ном}} \geq [0,80 \dots 0,85], \quad (4)$$

где $N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя по техническому паспорту автомобиля.

$$\Pi_\varphi = \varphi / \varphi_{\text{норм}} \geq [0,90 \dots 0,95], \quad (5)$$

где $\varphi_{\text{норм}} = 0,7$ для испытательного участка.

Ускорение при разгоне автомобилей рассчитывается по формуле:

$$j_P = V^2 / 2S_P \quad (6)$$

Результаты испытаний и рассчитанные показатели приведены в табл. 2.

По результатам испытаний (учитываем максимальное значение из трёх заездов) рассчитываем показатели соответствия технического состояния двигателя и шин по формулам (4), (5), (6).

Выводы и предложения

1) Данный метод позволяет определить текущую мощность двигателя автомобиля, коэффициент сцепления колеса с дорогой, что позволяет судить о состоянии двигателя в целом и сделать вывод о необходимости ремонтных или регулировочных работ. По величине коэффициента сцепления колес с дорогой выдаётся заключение о состоянии шин автомобиля. Результаты измерения разгонной и тормозной динамики автомобиля позволяет прогнозировать движение автомобиля в транспортном потоке.

2) По результатам испытаний автомобилей на площадке установлено:

- автомобиль 21081 соответствует нормативным показателям эффективной мощности двигателя и показателя коэффициента сцепления колес с дорогой и разгонной величине ускорения;

- автомобиль ВАЗ – 11174 (Калина) не соответствует требованиям технического состояния двигателя и шин, так как $\Pi_N = 0,52$, $\Pi_\varphi = 0,78$, а разгонное ускорение $1,15$ при нормативной величине $2,28 \text{ м/с}^2$. Вероятная причина несоответствия – незавершённый процесс приработки двигателя, так как пробег автомобиля составил 1850 км ;

- автомобиль ВАЗ – 2114 не соответствует требованиям технического состояния двигателя, так как $P_N = 0,67$, и разгонное ускорение, которое составило 1,53 при нормативной величине $2,10 \text{ м/с}^2$, шины соответствуют ($P_\phi = 0,90$). Необходимо выполнить регулировочные работы по системе питания двигателя.

3) Рекомендуется дополнить разделы 4.1; 5.1; 4.5 5.5; 4.6; 5.6 ГОСТ Р 51709-2001 требованиями к техническому состоянию тормозной системы, двигателя, шин и к методам их проверки по показателям текущей мощности и коэффициенту сцепления колеса с дорогой, а также применением прибора «Эффект» и схемы испытательной дорожной полосы.

4) Затраты на организацию мерных площадок составляют не более 1-2% от стоимости существующих проверочных пунктов с тормозными стендами (стоимость одного стенда от 0,5 до 2 млн. руб.), которые при этом не дают перечисленных показателей технического состояния автомобилей.

Таблица 2 Измеренные и рассчитанные показатели

Измеренные показатели			Испытание автомобилей								
			ВАЗ-21081 (год выпуска 1988)			ВАЗ-11174 (год выпуска 2010)			ВАЗ-2114 (год выпуска 2006)		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
скорость автомобиля в начале торможения	$V_a, \text{ км/ч}$	32,3	36,7	38,8	32,8	26,4	34,9	37,4	38,4	40,4	
	(м/с)	8,97	10,2	10,8	9,11	7,33	9,7	10,4	10,7	11,2	
установившееся замедление при торможении	$j_T, \text{ м/с}^2$	6,47	6,6	6,92	5,25	5,25	5,38	4,8	5,44	6,02	
	пересчитанная норма тормозного пути	$S_T, \text{ м}$	8,4	10,5	11,6	8,7	6,0	9,6	10,9	11,4	12,5
тормозной путь	$S_T, \text{ м}$	5,7	7,3	7,5	7,0	5,0	7,3	10,3	12,9	11,5	
усилие нажатия на педаль тормоза	$F_{\text{пед}}, \text{ Н}$	255	245,2	274,6	255	186,3	196,1	205,9	166,7	205,9	
время срабатывания тормозной системы	$t_c, \text{ с}$	0,3	0,22	0,37	0,22	0,52	0,22	0,52	0,22	0,15	
Рассчитанные показатели											
	обозначение	формула									
коэффициент сцепления колеса с дорогой	ϕ	$\phi = j_T m / g$	0,66	0,672	0,705	0,535	0,535	0,548	0,489	0,554	0,613
ускорение разгона	$j_p, \text{ м/с}^2$	$j_p = v^2 a / (2Sp)$	0,981	1,269	1,422	1,012	0,655	1,147	1,319	1,396	1,530
мощность на колесах автомобиля	$N_k, \text{ кВт}$	$N_k = m a \cdot j_T \cdot v_a \cdot a / 10^3 \text{ Л}$	28,31	32,83	36,46	29,34	23,62	32,03	26,43	30,81	35,69
мощность двигателя	$N_{\text{дв}}, \text{ кВт}$	$N_{\text{дв}} = N_k / \eta$	30,44	35,3	39,2	31,55	25,38	34,42	28,41	33,12	38,37

Литература:

1. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ИСПЫТАНИЕМ В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

П.А.Кулько, А.П. Кулько, А.В. Попов, М.Э. Викторов,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Методика проведения испытаний автомобилей в дорожных условиях включала выполнение следующих этапов.

1. Подготовку автомобилей, дорожной полосы к испытаниям.
2. Проведение испытаний автомобилей выбегом до полной остановки.
3. Решение системы уравнений баланса сил для определения следующих показателей: коэффициентов сопротивления воздуха, обтекаемости автомобиля; сил сопротивления воздуха, качению колёс и трансмиссии.

Перед началом испытаний все агрегаты автомобиля должны быть прогреты пробегом в течение 0,5...1,0 ч. Дорожная полоса [1] должна быть прямой и горизонтальной с продольным уклоном, не превышающим 0,5 % (0,3 градуса) на участке длиной не более 50м, поверхность – ровной и сухой с бетонным покрытием. Температура воздуха - от +5 до +25°С при скорости ветра не более 5 м/с.

В испытании участвовали три автомобиля. Выбег автомобилей со скоростью 40 км/ч, а затем 80 км/ч в прямом и обратном направлениях выполнялся до полной остановки. Технические характеристики автомобилей приведены в таблице 1. Условия проведения испытаний - в таблице 2.

Таблица 1 – Технические характеристики автомобилей

Марка автомобиля	Год выпуска	Масса, т, кг	Высота, Н, м	Ширина, В, м
Калина 111740 Универсал	2010	1228	1,500	1,700
ВАЗ - 21081	1988	1325	1,402	1,650
ВАЗ - 2114	2006	1410	1,402	1,650

Таблица 2 – Условия проведения испытания

Дорожное покрытие	Продольный уклон дорожной полосы, град.	Время проведения испытаний, ч	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С (К)	Атмосферное давление, мм рт. ст. (кПа)
Асфальто-бетонное	0,073	12...15	4	+7 °С (280)	767 (102,3)

Примечания.

1. Температура воздуха, скорость ветра, атмосферное давление получены от городского гидрометеобюро.

Составим уравнения баланса сил, приложенных к автомобилю, в направлениях:

$$\text{- прямом} \quad F_{Jп} = F_v + F_k + F_{тр} + F_{п}, \quad (1)$$

$$\text{- обратном} \quad F_{Jo} = F_v + F_k + F_{тр} - F_{п}, \quad (2)$$

где F_{Jn} , F_{Jo} – силы инерции автомобиля при заездах в прямом и обратном направлениях, Н; F_b , F_k – силы сопротивления воздуха и качению колёс, принимаем постоянными величинами в прямом и обратном направлениях движения, Н; F_n – сила сопротивления подъёму, Н; $F_{тр}$ – сила сопротивления трансмиссии, Н.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим:

$$F_{Jn} - F_{Jo} = 2 \cdot F_n, \quad (3)$$

где $F_{Jn} = m_a \cdot j_n$; $F_{Jo} = m_a \cdot j_o$; $F_n = m_a \cdot g \cdot \sin \alpha$; m_a – масса испытываемого автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; j_n , j_o – замедления автомобиля при движении в прямом и обратном направлениях, м/с^2 ; α – продольный уклон дорожного полотна, град.

Угол продольного уклона дорожного полотна найдём из уравнения (3):

$$\alpha = \arcsin [(j_n - j_o) / 2g] \quad (4)$$

Испытания автомобилей выполнялись с постоянной массой, без груза, после пробега для прогрева агрегатов в течение одного часа; давление в шинах составляло 0,2 МПа. Начальные скорости движения при испытании составляли 40 км/ч, а затем 80 км/ч в прямом и обратном заездах. Время движения автомобилей до полной остановки измерялось секундомером ЧСЭ-01, дискретность счёта времени составляла 0,01 с. Результаты испытаний приведены в таблицах 3,4,5.

Таблица 3 – Результаты испытаний автомобиля Калина 111740 Универсал

№ заезда	1		2	
	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	40 км/ч 11,11 м/с	40 км/ч 11,11 м/с	40 км/ч 11,11 м/с	40 км/ч 11,11 м/с
Время выбега	76,56	76,62	74,93,00	66,56
Установившееся замедление	0,15	0,15	0,17	0,16
Путь выбега	468,91	440,30	421,09	376,88
№ заезда	1		2	
Направление движения	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	80 км/ч 22,22 м/с	80 км/ч 22,22 м/с	80 км/ч 22,22 м/с	80 км/ч 22,22 м/с
Время выбега	104,60	99,74	112,63	97,06
Установившееся замедление	0,21	0,22	0,20	0,23
Путь выбега	1148,82	1094,29	1268,55	1083,37

Таблица 4 – Результаты испытания автомобиля ВАЗ – 21081

№ заезда	1		2	
	прямое	обратное	прямое	обратное
Направление движения	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с
Время выбега	60,90	54,94	60,82	58,60
Установившееся замедление	0,18	0,20	0,18	0,19
Путь выбега	381,66	306,41	332,92	326,92
№ заезда	1		2	
	прямое	обратное	прямое	обратное
Направление движения	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	80км/ч 22,22м/с	80км/ч 22,22 м/с	80км/ч 22,22 м/с	80км/ч 22,22 м/с
Время выбега	104,06	93,26	99,44	87,50
Установившееся замедление	0,21	0,24	0,22	0,25
Путь выбега	1136,99	1043,69	1087,71	957,03

Таблица 5 – Результаты испытаний автомобиля ВАЗ -2114

№ заезда	1		2	
	прямое	обратное	прямое	обратное
Направление движения	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с	40км/ч 11,11м/с
Время выбега	66,30	65,87	69,69	60,32
Установившееся замедление, j	0,17	0,17	0,16	0,18
Путь выбега	373,63	368,80	388,54	327,47
№ заезда	1		2	
	прямое	обратное	прямое	обратное
Направление движения	прямое	обратное	прямое	обратное
Начальная скорость выбега	80км/ч 22,22м/с	80км/ч 22,22 м/с	80км/ч 22,22 м/с	80км/ч 22,22 м/с
Время выбега	103,44	96,03	119,66	97,34
Установившееся замедление	0,21	0,23	0,19	0,23
Путь выбега	1123,48	1060,50	1360,26	1089,63

Установившееся замедление автомобилей J рассчитывалось по формуле:

$$J = v_a / t, \quad (5)$$

где v_a – скорость автомобиля в начале выбега, м/с; t – время движения автомобиля до полной остановки, с.

Путь выбега определялся по формуле:

$$S = J \cdot t^2 / 2 \quad (6)$$

Продольный угол наклона дорожной полосы рассчитывался по формуле (4), получены значения: $\alpha = [0...0,146]$ с ожидаемой средней величиной уклона $\alpha_{cp} = 0,073$ градуса, что соответствует требованиям к испытательному дорожному полотну.

Для определения коэффициентов: сопротивления воздуха, обтекаемости автомобиля и сил сопротивления воздуха, качению и трансмиссии применялся расчёт по системе уравнений, составленных по результатам заездов автомобилей со скоростью 40 км/ч (11,11 м/с) и 80 км/ч (22,22 м/с). Движущей силой автомобиля при выбеге является сила инерции автомобиля $F_{и} = m_a \cdot j$, которая расходуется на:

- силы сопротивления воздуха

$$F_B = k_B A_L v_a^2, \quad (7)$$

где k_B – коэффициент сопротивления воздуха, $H \cdot c^2 / m^4$, рассчитывается по результатам испытаний автомобилей; A_L – лобовая площадь автомобиля, m^2 , находится по приближённой формуле $A_L = (0,78...0,80) B \cdot H$, где B – наибольшая ширина, м; H – высота автомобиля, м.

- сумму сил сопротивления качению колёс F_K и трансмиссии $F_{ТР}$.

F_K определяется по результатам испытания автомобиля. $F_{ТР}$ определяется расчётом по формуле

$$F_{ТР} = F_{и} (1 - \eta_{тр}), \quad (8)$$

где $\eta_{тр}$ - коэффициент полезного действия трансмиссии, для легковых автомобилей составляет 0,92.

Составим уравнения баланса по выбегу автомобиля, и для их решения введём следующие ограничения:

- время движения и путь выбега принимаем средними значениями по прямому и обратному движениям для исключения в расчётах сил сопротивления подъёму;

- силы сопротивления качению колёс и трансмиссии принимаем постоянными, не зависящими от начальной скорости движения автомобиля при выбеге

$$m_a j_1 = k_B A v_{a1}^2 + F_K + F_{ТР}; \quad (9)$$

$$m_a j_2 = k_B A v_{a2}^2 + F_K + F_{ТР},$$

где v_{a1} – скорость выбега 40 км/ч, v_{a2} – скорость выбега 80 км/ч, k_B - коэффициент сопротивления воздуха, $k_B = 0,5 \cdot c \cdot \rho_B$; c -коэффициент обтекаемости автомобиля (безразмерная величина); ρ_B – плотность воздуха при испытании автомобилей, $кг/м^3$.

Плотность воздуха в условиях испытаний автомобилей найдём по формуле [6]:

$$\rho_B = \rho_0 p_1 T_0 / p_0 T_1, \quad (10)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при нормальных атмосферных условиях, $\rho_0 = 1,189$ кг/м³, соответствующих давлению $p_0 = 100$ кПа и температуре $T_0 = 293$ К (20 °С), T_1, p_1 – температура воздуха и атмосферное давление при проведении испытаний, $T_1 = 280$ К (+7 °С), $p_1 = 102,3$ кПа (767 мм рт. ст.) по данным таблицы 2.

По формуле (10) находим $\rho_B = 1,273$ кг/м³.

Решая систему уравнений (9), находим:

$$K_B = m_a(j_2 - j_1)/A(v_{a2}^2 - v_{a1}^2), \quad (11)$$

$$c = 2k_B/\rho_1, \quad (12)$$

$$F_K = F_{и} - F_B - F_{ТР}. \quad (13)$$

По рассчитанной силе сопротивления качению колёс найдём коэффициент сопротивления качению f на испытываемой дорожной полосе по формуле:

$$f = F_K / m_a g \quad (14)$$

Рассчитанные показатели сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчета

Скорость выбега, км/ч (м/с)	№ заезда	Установившееся замедление в заезде, $j, \text{ м/с}^2$	Коэффициенты		Силы инерции, $F_{и}, \text{ Н}$	Силы сопротивления движению			Коэффициент сопротивления качению, f
			Сопротивления воздуха, $k_B, \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$	Обтекаемости		Воздуха, $F_B, \text{ Н}$	Трансмиссии, $F_{ТР}, \text{ Н}$	Качению колеса, $F_K, \text{ Н}$	
КАЛИНА 111740 УНИВЕРСАЛ									
40 (11,11)	1	0,150	0,10	0,16	190	25	15	150	0,012
	2	0,165	0,08	0,13	203	20	16	167	0,014
80 (22,22)	1	0,215	0,10	0,16	264	98	21	145	0,012
	2	0,215	0,08	0,13	264	79	21	164	0,014
ВАЗ -21081									
40 (11,11)	1	0,190	0,07	0,11	252	16	20	216	0,017
	2	0,185	0,10	0,16	245	22	20	203	0,016
80 (22,22)	1	0,225	0,07	0,11	298	62	24	212	0,016
	2	0,235	0,10	0,16	311	89	25	197	0,015
ВАЗ - 2114									
40 (11,11)	1	0,170	0,10	0,16	240	22	19	199	0,014
	2	0,170	0,10	0,16	240	22	19	199	0,014
80 (22,22)	1	0,220	0,10	0,16	310	89	25	196	0,014
	2	0,210	0,10	0,16	296	89	24	183	0,013

Выводы

1. Предложенная методика испытания позволяет получить сравнительные показатели по коэффициентам сопротивления воздуха и обтекаемости в условиях эксплуа-

тации различных марок автомобилей. По результатам испытаний наилучшие аэродинамические показатели из трёх представленных автомобилей имеет ВАЗ - 21081.

2. По рассчитанным силам сопротивления качению колеса можно определить коэффициент сопротивления качению на испытываемой дорожной полосе. Полученные коэффициенты f соответствуют табличным значениям.

3. Разработанная авторами методика рекомендуется для применения инженерно-техническим работникам автотранспортных предприятий и научно-исследовательских организаций.

Литература:

1. В.П. Тарасик Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб.; БХВ-Петербург, 2006. - 478 с.

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОРМОЗНЫХ БАРАБАНОВ (НА ПРИМЕРЕ АВТОБУСА «ВОЛЖАНИН - 5270»)

*П.А.Кулько, А.П. Кулько, Р.В. Заболотный, Е.И. Небыкова, Д.В. Заколюкин,
Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета*

Автобусы марки «Волжанин -5270» являются основным видом городских и пригородных пассажирских перевозок в городе Волжском и в автоколонне 1732 составляют 26,3 процентов подвижного состава (65единиц).

Все автобусы оснащены антиблокировочной системой тормозов, что позволяет водителям выполнять процесс торможения автобуса в условиях, приближённым к оптимальным параметрам работы тормозных колёсных пар в транспортном потоке.

Одним из направлений по снижению затрат на приобретение тормозных барабанов является увеличение пробегов тормозных барабанов за счёт определения их предельных и допускаемых размеров, и полного использования их ресурса.

Для решения поставленной проблемы была разработана методика выполнения исследования в объёме договора № 11/19 – 11 между Волжским политехническим институтом и Волжской автоколонной 1732, которая включала следующие этапы.

1. Определение доверительного числа объектов наблюдений, порядка и методов измерения тормозных барабанов.

2. Выбор факторов, влияющих на интенсивность изнашивания. Сбор и анализ статистических данных.

3. Расчёт тормозных барабанов на прочность и определение их предельных и допускаемых размеров рабочей поверхности.

Рассмотрим результаты исследования.

1. Объём n выборки автобусов определялся по РД 50 – 690 – 89 [4] и составил $n = 9$. Измерение рабочего диаметра выполнялось нутромером в двух взаимных плоскостях при выполнении на автобусе работ по ТО-2.

2. К основным факторам, влияющим на процесс изнашивания, были отнесены: распределение массы автобуса по осям; расчётные тормозные силы, действующие на передние и задние барабаны; скорость движения автобуса в начале торможения; коэффициент сцепления колёс с дорожным покрытием.

По результатам микрометража было рассчитано уравнение регрессии линейного типа:

$$Y_i = kx_i + b_i, \quad (1)$$

где Y_i – текущая величина диаметра тормозного барабана, мм; x_i – текущая величина пробега автобуса, тыс. км; k – коэффициент, учитывающий изменение диаметра (интенсивность износа барабана, мм/тыс. км); b_i – начальный диаметр тормозного барабана, мм.

Отыскание параметров выборочного уравнения выполнялось по несгруппированным данным [2] методом наименьших квадратов, например, для правого колеса переднего моста по расчётной таблице 1.

Таблица 1 – Расчётные показатели. Передний мост, правое колесо

	y	x ²	y ²	xy
121,73	420,17	14818,1929	176542,8	51147,2941
138,69	420,2	19234,9161	176568	58277,538
172	420,4	29584	176736,2	72308,8
213,05	422,77	45390,3025	178734,5	90071,1485
278,89	422,45	77779,6321	178464	117817,0805
280,8	422,79	78848,64	178751,4	118719,432
396,82	423,15	157466,1124	179055,9	167914,383
462,79	425,21	214174,5841	180803,5	196782,9359
540,61	424,44	292259,1721	180149,3	229456,5084
$\Sigma x=2605,38$	$\Sigma y=3801,58$	$\Sigma x^2= 929555,55$	$\Sigma y^2=1605806$	$\Sigma xy=1102495,12$

Получены следующие уравнения регрессии по изменению диаметра тормозных барабанов - y от пробегов автобусов - x; коэффициенты корреляции r_k и t_p – распределения Стьюдента:

Передний мост

	r_k	t_p	
- правое колесо	$y = 0,0113x + 419,10;$	0,92	6,15 (2)

- левое колесо	$y = 0,0090x + 419,46;$	0,819	3,49 (3)
----------------	-------------------------	-------	----------

Задний мост

- правое колесо	$y = 0,0160x + 418,25;$	0,964	10,29 (4)
-----------------	-------------------------	-------	-----------

- левое колесо	$y = 0,0130x + 418,45.$	0,95	8,1 (5)
----------------	-------------------------	------	---------

Рассчитанные коэффициенты корреляции показывают, что износ тормозных барабанов всех колёс имеют сильный характер связи с пробегом автобуса (таблица 2), а t – распределения Стьюдента подтверждают гипотезу о значимости этих коэффициентов корреляции (так как критическое значение $t_{кр} = 2,26$).

Распределение полной массы автобуса, согласно техническим показателям, по осям составляют, кг: передняя ось - 7000; задняя ось – 11000.

Скорость автобуса в начале торможения на городском маршруте принята по результатам наблюдений и анализа $V_a = 30$ км/ч. Коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием на городских дорогах второй категории принимаем $\phi = 0,7$ [7].

Таблица 2. – Количественные критерии оценки тесноты связи [6]

Величина коэффициента корреляции	Характер связи
До $ \pm 0,3 $	Практически отсутствует
$ \pm 0,3 - \pm 0,5 $	Слабая
$ \pm 0,5 - \pm 0,7 $	Умеренная
$ \pm 0,7 - \pm 1,0 $	Сильная

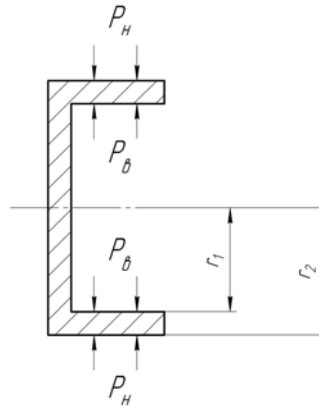


Рисунок 1. Схема действующих сил на тормозной барабан при торможении : p_v , p_n - удельное давление внутреннее и наружное, Н/см²; r_1 , r_2 – радиусы тормозного барабана на внутренний и наружный, см.

3.Расчёт тормозных барабанов на прочность

Расчёт тормозного барабана на прочность выполняется по методике расчёта толстостенных труб, имеющих днище [5].

В поперечном сечении барабана возникают равномерно распределённые напряжения:

$$\sigma = \frac{p_v r_1^2 - p_n r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}, \quad (6)$$

где наружное удельное давление $p_n = 0$.

После преобразований формулы (6) предельную величину толщины стенки $[\delta]$

$$[\delta] = \frac{n r_1^2 k}{(r_2 + r_1) [\sigma]} p_v \quad (7)$$

определим по формуле:

где $[\sigma]$ – допускаяемая величина разрывного усилия при растяжении для материала тормозного барабана, принимают по соответствующему ГОСТ, Н/см²; n – коэф-

коэффициент запаса, для расчёта примем $n_l = 9$, k - корректировочный коэффициент, $k = 1,5$.

Удельное давление на рабочей поверхности барабана определим по формуле:

$$p_e = \frac{F_T}{S}, \quad (8)$$

где F_T – нормальная составляющая тормозной силы, приходящейся на барабан, Н; S – площадь тормозных накладок на одном тормозном барабане, см^2 .

Допускаемая величина удельного давления на стенки тормозного барабана нормируется и составляет до 0,3 МПа (30 Н/см^2) [3].

Процесс торможения автобуса зависит от соотношения тормозной силой F_T и сцепления колёс с дорогой $F_{\text{сц}}$

$$F_T \leq F_{\text{сц}} = \varphi R, \quad (9)$$

где $R = R_{\text{п}} + R_{\text{з}}$ - сила реакции дороги на колёса переднего, заднего мостов автобуса, Н; φ – коэффициент сцепления колёс автобуса с дорогой, принимаем для городских дорог $\varphi = 0,70$.

При торможении происходит перераспределение реакций, которые учитываются коэффициентами :

$$k_{\text{п}} = \frac{R_{\text{п}}}{G_{\text{п}}}; \quad k_{\text{з}} = \frac{R_{\text{з}}}{G_{\text{з}}}, \quad (10)$$

где $G_{\text{п}}$, $G_{\text{з}}$ - распределение веса автобуса по переднему и заднему мостам, Н.

Поскольку скорость автобуса при торможении составляет не более 30 км/ч, принимаем для расчётов значения коэффициентов:

$$k_{\text{п}} = k_{\text{з}} = 1,0 \quad (11)$$

Тогда для расчёта примем:

$$R_{\text{п}} = G_{\text{п}}; \quad R_{\text{з}} = G_{\text{з}}. \quad (12)$$

Рассчитаем тормозные силы, действующие на мосты по формулам:

$$\text{передний} \quad F_{\text{пт}} = \varphi G_{\text{п}}; \quad (13)$$

$$\text{задний} \quad F_{\text{зт}} = \varphi G_{\text{з}}. \quad (14)$$

Величину удельного давления на стенки тормозного барабана определим по мостам по формулам (15) и (16):

$$\text{Передний -} \quad p_{\text{пв}} = \frac{\varphi G_{\text{п}}}{4S_{\text{п}}}; \quad (15)$$

$$p_{3B} = \frac{\varphi G_3}{4S_3}, \quad (16)$$

Задний -

где S_{II} , S_3 – площадь тормозных накладок переднего и заднего тормозных барабанов, см^2 . $S_{II} = S_3 = 22,0 \times 16,5 = 363,0$.

Рассчитаем удельное давление на рабочую поверхность тормозного барабана, Н/см^2 :

$$p_{II} = \frac{0,7 \cdot 7000 \cdot 9,8}{4 \cdot 363,0} = 33,072$$

передний мост

$$p_{3B} = \frac{0,7 \cdot 11000 \cdot 9,8}{4 \cdot 363,0} = 51,97$$

задний мост

Для изготовления автомобильных тормозных барабанов применяют чугун СЧ - 20 ГОСТ 1412 -85. Величина временного сопротивления растяжению для заготовки с толщиной стенки 15 мм $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ [1].

Рассчитаем минимальную предельную величину толщины стенки тормозного барабана по формуле (7), см:

$$[\delta]_{II} = \frac{9 \cdot 21^2 \cdot 1,5}{(21 + 22,8) \cdot 16000} \cdot 33,072 = 0,281$$

Передний мост

$$[\delta]_3 = \frac{9 \cdot 21^2 \cdot 1,5}{(21 + 22,8) \cdot 16000} \cdot 51,97 = 0,44$$

Задний мост

Предельное значение диаметров внутренней рабочей поверхности тормозных барабанов найдём по формуле (для выбраковки барабана):

$$D_{пр} = D_{нар} - 2[\delta], \quad (20)$$

где $D_{нар}$ – наружный диаметр тормозного барабана ($D_{нар} = 456$), мм.

$$\text{Передний мост } D_{IIпр} = 456 - 2 \cdot 0,281 = 450,38;$$

$$\text{Задний мост } D_{3пр} = 456 - 2 \cdot 0,44 = 447,20.$$

$$\text{Принимаем } D_{IIпр} = 450,0; \quad D_{3пр} = 447,0.$$

Допускаемый диаметр тормозного барабана под расточку на последний ремонтный размер определим по формуле, мм:

$$D_{доп} = D_{пр} - (k L_{то-2} + 2 a), \quad (21)$$

где k – интенсивность изнашивания рабочей поверхности тормозного барабана, мм/тыс. км, определяется из уравнений (2,3,4,5); $L_{\text{ТО-2}}$ – пробег автобуса через четыре интервала ТО -2, $L = 60000$ км; a – припуск на обработку, $a = 1 \dots 3$ мм на сторону.

$$\text{Передний мост } D_{\text{Пдоп}} = 450,0 - (0,01 \cdot 60,0 + 2 \cdot 2) = 445,4$$

Принимаем $D_{\text{Пдоп}} = 445,0$.

$$\text{Задний мост } D_{\text{Здоп}} = 447,0 - (0,015 \cdot 60,0 + 2 \cdot 2) = 442,1$$

Принимаем $D_{\text{Здоп}} = 442,0$.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Ожидаемая величина удельного давления накладок на рабочей поверхности тормозного барабана при торможении автобуса «Волжанин -5270» превышает оптимальную величину (0,30 МПа) на переднем мосту - на 10 %, а на заднем – на 73 процента.

2. Интенсивность изнашивания рабочей поверхности передних тормозных барабанов в 1,5 раз меньше чем задних (мм/тыс. км): $k_{\text{П}} = 0,01$; $k_{\text{З}} = 0,015$.

3. Предельные размеры рабочих поверхностей тормозных барабанов (для выбраковки) с обеспечением безопасности движения автобусов «Волжанин -5270» составляют: передний мост – 450,0; задний мост – 447,0.

4. Допускаемые размеры рабочих поверхностей тормозных барабанов (для ремонта) с обеспечением безопасности движения автобусов «Волжанин -5270» составляют: передний мост – 445,0; задний мост – 442,0.

Литература:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя в 3 т. Т.1 – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. -920 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.- М.: Наука, 1977. – 479 с.
3. Конструирование и расчёт автомобиля. П.П.Лукин, Г.А.Гаспарянц, В.Ф.Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 378 с.
4. РД 50 -690 – 89. Методические указания. Надёжность в технике. Методы оценки показателей надёжности по экспериментальным данным.- М.: Издательство стандартов, 1990.- 133 с.
5. Справочник металлиста в 5 т. Т1.Под ред. С.А.Чернавского и В.Ф.Ранципова. М.: Машиностроение, 1976. – 768с.
6. Шмойлова Р.А. Теория статистики.- М.: Финансы и статистика, 1996.– 464 с.

7 Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб.: ВХВ- Петербург, 2006. – 478 с.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА КРУГА В ПРОЦЕССЕ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

*В.А. Носенко, Е.В. Федотов, М.В. Даниленко,
Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета*

При шлифовании в зоне контакта круга с деталью возникают силы, под действием которых происходит пластическая деформация металла и образование стружки. С увеличением сил резания увеличивается износ круга и сокращается период его стойкости, повышается температура в зоне резания и в поверхностных слоях детали, увеличивается шероховатость и снижается точность обработки. Поэтому вопросы изучения сил шлифования и влияние различных факторов на их изменение являются предметом большого количества исследований.

Для расчета составляющих силы резания применен расчетно-экспериментальный метод, который в качестве исходной информации требует определения ряда экспериментальных данных. Метод состоит в следующем. В начале с помощью поэлементного расчета вычисляют силу резания, действующую на единичное зерно. Затем в пределах поверхности контакта круга с заготовкой находят число зерен, совершающих процесс микрорезания, и рассчитывают значения действующих на них сил резания. Путем суммирования полученных значений определяют силу резания при шлифовании.

Методика вычисления силы резания единичным зерном при шлифовании представлена различными авторами [1, 2].

Общим принципом при определении сил резания является условие равновесия внешних и внутренних сил, воздействующих на режущий элемент.

В процессе снятия стружки вершиной абразивного зерна возникает сила резания R , которая является геометрической суммой двух составляющих: тангенциальной P_z и нормальной P_y . Каждая составляющая включает в себя силу сдвига P_s в плоскости сдвига, силу трения $P_{тр}$ по задней поверхности зерна и инерционную силу стружки $P_{ин}$.

Суммируя выражения для составляющих сил сдвига, трения и инерции получаем зависимости для определения составляющих силы резания:

$$P_z = \frac{2a_z \tau_s \sqrt{2\rho \cdot a_z} \sin(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} + \frac{\pi \tau_s \rho a_z \mu}{\mu_s} + 2a_z \rho_m v^2 \sqrt{2\rho a_z} \left(1 - \frac{\sin \beta \sin \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \right) \cdot 10^{-3};$$

$$P_y = \frac{2a_z \tau_s \sqrt{2\rho \cdot a_z} \cos(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} + \frac{\pi \tau_s \rho a_z}{\mu_s} + \frac{2a_z \rho_m v^2 \sqrt{2\rho a_z} \sin \beta \cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \cdot 10^{-3},$$

где a_z – глубина резания; τ_s – напряжение сдвига; ρ – средний радиус округления вершин зерен в круге; β – угол сдвига; φ_s – угол трения; μ – коэффициент внешнего трения; μ_s – коэффициент внутреннего трения; ρ_m – плотность материала; γ – передний угол; v – скорость резания.

Суммарная сила резания единичным абразивным зерном:

$$R = P_z^2 + P_y^2.$$

Сила шлифования является результирующей сил резания отдельными зернами и зависит от положения вершины зерна в рабочем слое круга.

Исходными данными для расчета распределения зерен по высоте рабочей поверхности круга являются число режущих кромок приходящихся на единицу площади круга n_z (1/мм²) и их расположение на заданном уровне высоты круга. Начальное распределение находится экспериментальными методами [3] и определяется способом и режимами правки. При моделировании рельефа рабочей поверхности необходимо учитывать случайное взаимодействие вершин зерен, знать вероятности видов изнашивания вершин зерен, расположенных на разной глубине рабочей поверхности круга, и вероятность перехода в новое положение этой вершины в результате изнашивания [4]. С учетом вероятностей различных видов изнашивания можно определить количество зерен расположенных на различном уровне с учетом времени шлифования n_{zi} .

Произведение части зерен n_{zi} на длину дуги L_i (см. рис.) будет представлять собой число вершин равноудаленных от периферии (наиболее выступающих вершин), находящихся в зоне контакта в некоторый мгновенный момент времени.

$$N_{zi} = n_{zi} \cdot L_i \quad (1)$$

Однако не все зерна, находящиеся в зоне контакта вступают во взаимодействие с обрабатываемым материалом. Контакт абразивного зерна и обрабатываемого материала является случайным событием, а, потому, определяется вероятностью контакта P_k . Вероятность контакта неодинакова в различных точках зоны контакта и является функцией координат x и y :

$$P_K = f(x; y) \quad (2)$$

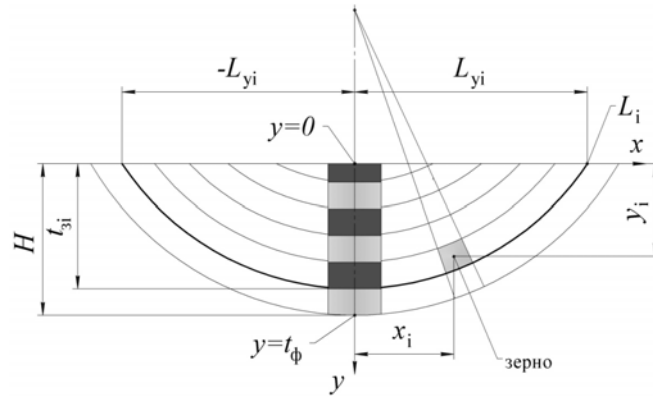


Рисунок. Схема для определения длины фактической дуги контакта зерна

Произведение n_{zi} на P_K представляет собой число зерен i -го слоя на единице площади ($1/\text{мм}^2$), контактирующих с обрабатываемым материалом в некоторый момент времени. Следовательно, учитывая выражения (1) и (2) число равноудаленных от периферии зерен, находящихся в зоне контакта и взаимодействующих с обрабатываемым материалом будет определяться:

$$N_{zki} = \int_{L_i} n_{zi} \cdot P_K = n_{zi} \int_{L_i} P_K = n_{zi} \cdot L_{\phi i} \quad (3)$$

где $L_{\phi i}$ - фактическая длина дуги контакта, являющаяся частью траектории движения вершины зерна L_i , проходящая через зону резания, и представляющая собой сумму отрезков данной траектории, в пределах которых зерно взаимодействует с обрабатываемым материалом.

Фактическая длина дуги контакта одного абразивного зерна, имеющего максимальную глубину резания t_{zi} , определяется как интеграл вероятности контакта в пределах зоны резания:

$$L_{\phi i} = \int_{-L_{yi}}^{L_{yi}} P_K dx \quad (4)$$

Сила резания одной вершины R зависит от положения этой вершины в зоне контакта аналогично зависимости P_K :

$$R = f(z; y) \quad (5)$$

Учитывая зависимости (3) и (5), сила резания, возникающая в некоторый мгновенный момент времени при взаимодействии равноудаленных от периферии круга вершин зерен с обрабатываемым материалом будет определяться по формуле:

$$R_{ki} = \int_{Li} n_{zi} \cdot P_K(x; y) \cdot R(x; y) = n_{zi} \int_{Li} [P_K(x; y) \cdot R(x; y)] \quad (6)$$

Вычисляя выражение (6) для каждого i -го слоя зоны контакта получим значение **силы шлифования**, в некоторый момент времени, на 1 мм высоты абразивного круга:

$$R_{\text{шл.}} = \sum_i R_{ki} \quad (7)$$

Результаты расчетов силы резания, выполненные по рассмотренной в данной статье методике, представлены в таблице. Параметры шлифования, используемые в расчете: характеристика круга 1 250 x 76,2 x 20 24A F60 K (4...8) B; режимы шлифования: $v_k=35$ м/с, $v_d=0,2$ м/с; обрабатываемый материал сталь 45 (HRC 45); длина образца 0,1 м, ширина образца 0,01 м.

Таблица

t_{ϕ} , мкм	u , мкм	n_z , 1/мм ²	Расчетные значения, Н/мм			Экспериментальные значения, Н/мм		
			R	P_z	P_y	R	P_z	P_y
11	30	4,28	7,98	3,79	7,03	7,96	3,8	7,0

Результаты экспериментального определения сил шлифования согласуются в рамках допустимых расхождений с результатами теоретических расчетов, что позволяет сделать заключение об адекватности разработанной вероятностно-статистической модели и возможности применения разработанной на ее основе программы [5] в качестве средства теоретических исследований.

Литература:

1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М., «Машиностроение», 1974.
2. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. Изд. «Машиностроение», Ленинград, 1979г.
3. Зубарев Ю.М. Приемывшев А.В. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 304 с.
4. Носенко В. А. Математическая модель формирования рабочей поверхности круга при шлифовании / В. А. Носенко, Е. В. Федотов, М.В. Даниленко // Инструмент и технологии. - 2010. - № 30-31. - С. 151-154.
5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011614423 от 6 июня 2011 г. РФ, МПК (нет) Расчёт сил резания при шлифовании / В.А. Носенко, Е.В. Федотов, М.В. Даниленко, С.В. Носенко; ВолгГТУ. - 2011.

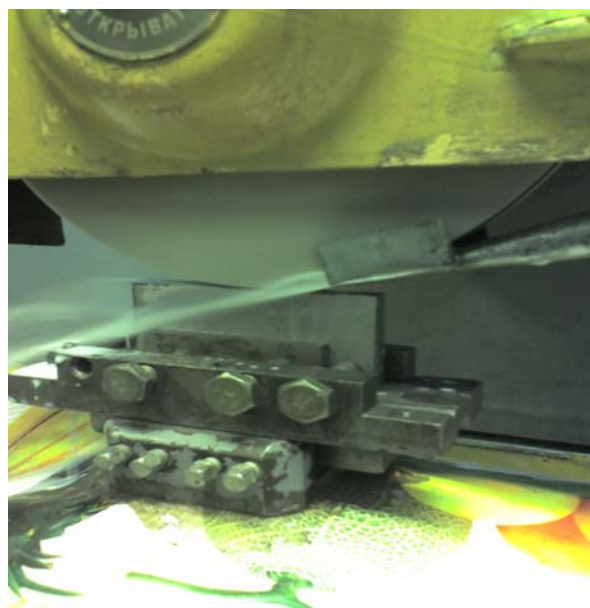
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛИЙ ШЛИФОВАНИЯ СТАЛИ ШХ15

В.А. Носенко, С.В. Орлов,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Цель исследования - определение влияния твердости, зернистости абразивного инструмента, величины подачи и наработки на величину вертикальной составляющей силы шлифования. Разработка модели проводилась методом полного факторного эксперимента типа 2^k состоящего из следующих обязательных этапов: кодирование факторов; составление план-матрицы эксперимента; рандомизация опытов; реализация плана эксперимента; проверка воспроизводимости опытов; оценка значимости коэффициентов регрессии; проверка адекватности линейной модели [1].



а)

б)

Рисунок - Станок 3Г71 (*а*) с установленным динамометром УДМ-100 (*б*)

Для исследований в лабораторных условиях использовалась экспериментальная установка на базе плоскошлифовального станка 3Г71 (рис.). Для измерения составляющих сил шлифования на магнитном столе станка устанавливался динамометр

УДМ-100 конструкции ВНИИ, позволяющий одновременно измерять три составляющие усилия резания P_z , P_y , P_x и крутящий момент $M_{кр}$. Сигнал от динамометра передавался на персональный компьютер через усилитель УТ4-1 ТУ25.06.1377-82, а затем через аналогово-цифровой преобразователь Е14-140ф.

Образцы для испытаний с рабочими размерами 87×100 мм изготавливались на ВПЗ-15 с необходимой технологической обработкой соответствующей нормативным требованиям. Предварительно с образцов снимался слой толщиной 0,1...0,15 мм для исключения влияния технологической наследственности.

Для исследований использовались шлифовальные круги 25AF46K6V, 25AF46L6V, 25AF60K6V, 25AF60L6V.

Используя имеющиеся данные по обработке подшипников из стали ШХ15 были определены интервалы варьирования исследуемых факторов: твердость К и L; зернистость F46 и F60; величина вертикальной подачи 10мкм/ход и 20 мкм/ход; скорость стола 10м/мин и 20 м/мин.

При полном факторном эксперименте полученное уравнение регрессии принимает вид полинома первой степени:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j,u=1}^k b_{iju} x_i x_j x_u + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots,$$

где b_0 - свободный член; b_i - линейный коэффициент; b_{ij} - эффекты парного взаимодействия; b_{iju} - эффекты тройного взаимодействия; b_{ii} - квадратичные эффекты.

Матрица планирования ПФЭ типа 2^3 представлена в таблице.

Таблица

Матрица планирования ПФЭ типа 2^3

Опыт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x_1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
x_2	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
x_3	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
x_4	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1

Полное уравнение регрессии с коэффициентами взаимодействия имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 + b_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + b_{124} x_1 x_2 x_4 + b_{234} x_2 x_3 x_4 + b_{134} x_1 x_3 x_4.$$

После проверки на значимость коэффициентов регрессии получено следующее уравнение в кодированном значении факторов:

$$y = 19,9 + 5,45x_1 + 0,99x_2 + 1,65x_3 + 3,67x_4 - 2,40x_1x_2 + 2,48x_2x_3 - 0,77x_1x_3 + 2,60x_1x_4 - 1,42x_2x_4 + 1,97x_1x_2x_3 - 1,49x_1x_2x_4.$$

Литература:

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.–М. Наука,1976–280 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ
ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРПУСА РЕДУКТОРА ЗАДНЕГО МОСТА
НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНЫХ
КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ 6-7807ЕУШЗ
И 6-7705АЕШЗ ПОСЛЕ МОНТАЖА В УЗЕЛ**

С.В. Носенко, А.А. Анисимова,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

Основной задачей современного машиностроительного производства является повышение качества технологического процесса (в том числе – с использованием данных контроля), одним из важнейших параметров которого является *микрogeометрия и качество обработанной поверхности*.

На ОАО «Волжский подшипниковый завод» необходимо было установить причину повышенного шума и вибрации редуктора заднего моста в сборе. Заводом-изготовителем редуктора было установлено, что источником шума и вибрации является блок подшипников. Однако, анализ деталей подшипников, выбранных случайным образом из партии, показал, что их микрогеометрические параметры соответствуют техническим требованиям. В связи с этим было высказано предположение, что искажение микрогеометрии деталей подшипников происходит при их запрессовке в посадочное отверстие редуктора.

Исходя из этого, была определена цель работы: исследовать влияние параметров внутренней микрогеометрии посадочных поверхностей корпуса редуктора заднего моста на изменение микрогеометрических параметров наружных колец подшипников 6-7807ЕУШЗ и 6-7705АЕШЗ после монтажа. Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) определить микрогеометрические параметры посадочных поверхностей редуктора и рабочей поверхности наружного кольца подшипника перед запрессовкой;

2) исследовать влияние микрогеометрических параметров посадочных поверхностей редуктора на микрогеометрические параметры рабочей поверхности наружного кольца подшипника после запрессовки.

Перед выпрессовкой колец, запрессованных заводом-изготовителем, с помощью кругломера Talysond 73 было измерено отклонение формы роликовой дорожки наружных колец 6-7705АЕШЗ, 6-7807ЕУШЗ и посадочных поверхностей корпуса редуктора под них же. В результате проведения замеров было выявлено, что отклонения составляют:

- 17,26 мкм (превышает нормы КД ОАО «ВПЗ» почти в 4 раза);

- 15,48 мкм (превышает нормы КД ОАО «ВПЗ» почти в 3,5 раза);

- 17,87 мкм, что превышает нормированное по ГОСТ 3325-85 значение (7,5 мкм) в $\approx 2,5$ раза;

- 28,9 мкм, что превышает нормированное по ГОСТ 3325-85 (7,5 мкм) значение в $\approx 3,8$ раза.

Расположение локальной неровности на дорожках качения колец подшипников и на посадочных поверхностях редуктора совпадают с расположением ребра жесткости корпуса редуктора.

В результате проведения замеров отклонения от круглости дорожек качения подшипников, запрессованных из корпуса редуктора, выявлено, что отклонения формы дорожек качения наружных колец 6-7705АЕШЗ и 6-7807ЕУШЗ составляют 2,42 мкм и 5,18 мкм соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что детали соответствовали требованиям КД до запрессовки, но их микрогеометрия была искажена формой посадочных отверстий. Для подтверждения данного предположения с производственного потока было отобрано наружное кольцо подшипника 6-7705АЕШЗ, соответствующее требованиям КД по параметрам микрогеометрии (отклонение от круглости – 0,86 мкм). После запрессовки кольца в посадочное место корпуса (в 3-х положениях с поворотом на 90°) было проведено измерение отклонения от круглости дорожки качения наружного кольца. Результаты показали, что отклонения формы дорожки качения запрессованного кольца 6-7807ЕУШЗ в 3-х положениях составляют 16,94; 16,61; 17,87 мкм соответственно. После сопоставления круглограмм установлено, что расположение локальной неровности на дорожке качения кольца и подшипника, а так же форма поверхности при каждом положении остаются неизменными.

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Величины отклонения от круглости посадочных поверхностей корпуса редуктора в несколько раз превышает нормированные значения по ГОСТ 3325-85. Это приводит к значительным изменениям формы и отклонениям от круглости поверхности роликовых дорожек колец после запрессовки в корпус.
2. Выявленные в результате исследования отклонения могут являться прямыми причинами повышенного шума и вибрации редуктора заднего моста.
3. Причинами искажения формы посадочных отверстий могут являться завышенные отклонения от круглости при изготовлении посадочного отверстия или остаточные деформации корпуса редуктора после изготовления в нём посадочного отверстия, Расположение локальной вогнутости на всех круглограммах запрессованных колец совпадает с расположением ребра жесткости.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕСТАНОВКИ КОЛЁС АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЁТОМ УСЛОВИЙ ИХ РАБОТЫ

Р.В. Заболотный, Шляхов А.В., Авдеев Д.Е.,

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

При эксплуатации под влиянием различных условий наблюдается различная интенсивность изнашивания рисунка протектора, обусловленная эксплуатационными факторами. Наличие разной интенсивности износа автошин приводит в одних случаях к недоиспользованию ресурса по пробегу или по техническому состоянию ввиду истирания протектора до предельных величин. Причины неравномерного износа различны: ненормативное давление воздуха в камерах, неисправности подвески, тормозной системы и др.

Для увеличения срока служба автошин рекомендуется усовершенствовать систему учёта автошин и условий их работы. Для этого разработан информационный комплекс, в который входят системы учёта, анализа, базы данных и система оптимизации постановки автошин (рис.).



Рисунок 1. Схема совершенствования информационного обеспечения шинного хозяйства

Информационный комплекс предназначен для выполнения следующих функций:

- для учёта постановки и пробега автошин;
- для учёта износа протектора автошин на основе предусмотренных систематических замеров остаточной высоты рисунка протектора;
- учёт неисправностей автомобилей;
- учёт перестановки шин;
- ведения базы данных нормативов при эксплуатации автошин;
- анализ данных с расчётом и составлением базы данных интенсивностей износа протектора автошин;
- оптимизация постановки автошин по различным критериям.

Определение оптимального варианта постановки производится на основе моделирования вариантов.

В качестве исходных данных принимаются пробеги и величина остаточного рисунка протектора каждой автошины, а также интенсивности изнашивания покрышек автомобилей в зависимости от места их установки на автомобиле.

Моделирование может производиться с учётом различных критериев: максимальный пробег до списания, минимум перестановок и др.

В качестве расчётных данных будет указание места установки автошины на автомобиле.

Оптимальному варианту постановки автошин соответствует минимальное значение критерия k , причём $k_i = L_i/L - b_i/b$, где $L_i = L^*_i + \Delta L$ – пробег i -ой автошины с начала эксплуатации на конец периода прогнозирования, L – норма пробега шины до списания, b_i – остаточная высота протектора i -ой автошины на конец периода прогнозирования, b – высота протектора новой автошины.

Критерий рассчитывается для различных комбинаций постановки автошин, причём оптимальным также может быть $\sum k_i = \min$.

Пример моделирования приведён в таблице 1. В случае дальнейшей эксплуатации автошин без перестановки, автошину № 3 требовалось бы заменить раньше контрольного пробега в 20000 км.

Таблица 1 – Пример расчетных показателей с перестановкой и без

Исходные данные			Результаты расчёта			
Номер автошины	Пробег с начала эксплуатации, L^*_i , км	Остаточная высота рисунка протектора, b^*_i мм	Расчётная высота протектора без перестановки, мм	Место установки	Прогнозируемая высота рисунка протектора, b_i , мм	Принятый пробег до перестановки, ΔL , км
1	2	3	4	5	6	7
1	40000	12	7	4	5	20000
2	40000	14	10	3	4	20000
3	40000	8	1	2	7	20000
4	40000	10	4	1	6	20000

При эксплуатации автомобилей, оснащенных АБС, наблюдается различная интенсивность износа протектора шин по колёсам. Одной из причин этого является работа АБС, в виду различных условий работы на трение и износ колёс [1].

Поэтому, принятые рекомендации по перестановке колёс привязанные к периодичности технического обслуживания особенно актуальны для продления срок службы автошин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЗЕЛЁНОГО ЗЕРНИСТОСТЕЙ F24-F120..

*Носенко В.А., Макушкин И.А., Букитанович К.А.,
Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета*

Абразивное зерно является основным режущим элементом абразивного инструмента. Естественно, что от геометрической формы зерна и его размеров зависит режущая способность процесса абразивной обработки. Поэтому геометрия зерна является одним из элементов управления процессом шлифования.

Размер зерна заложен в характеристики абразивного инструмента. Согласно ГОСТ 3647 – 80 о размере зерна судят по его ширине или полусумме длины и ширины. Одного или даже двух линейных размеров явно недостаточно для получения объективных данных о размере и форме зерна. Поэтому в семидисетых годах прошлого века проводились обширные исследования морфологии абразивных зерен [1, 2, 3].

Технология и рецептура изготовления шлифовальных материалов постоянно совершенствуется, что должно отразиться и на их морфологии. К настоящему времени изменилась и методика измерения, основанная на цифровой фотографии и компьютерной обработке полученных результатов, что существенно повышает точность и производительность измерений.

Для получения более точных данных разработана программа, которая производит измерения в автоматическом режиме и позволяет получать более обширные и точные данные [4].

В данной работе произведена апробация программы при измерении длины и ширины шлифовального материала из карбида кремния зеленого. Для проведения испытаний выбрана зернистость F60. Далее зёрна рассеяли согласно ГОСТ 52281 – 2005 на фракции размером 425, 300, 250, 212 и минус 180 мкм. Результаты исследований приведены на примере фракции, оставшейся на сите с размером ячейки 250 мкм.

Если ориентироваться на мелкие зерна, то по гост 3647 – 80 для определения длины и ширины требуется измерение 700 зёрен. С целью получения более объективных данных и последующей оценки достоверности измерений исследовали 7000 зёрен.

Для определения зернового состава, методом квартования отбирали две пробы массой 5-7 г. Одну пробу тщательно перемешивают на стекле и распределяли полоской длиной 7-8 см, шириной 1 см. Полоску делили на 7-8 частей в поперечном направлении. Каждую чётную часть удаляли. Оставшиеся части перемешивали и снова сокращали их объем тем же способом до 0,5-1,0 г. Из конечной пробы взяли часть шлифматериала для проведения измерений.

Отобранные зёрна распределили равномерно по охватываемой измерениями поверхности предметного стекла так, чтобы они не соприкасались и не перекрывали друг друга.

Объемы выборок при измерении длины l и ширины b были разбиты на 15 интервалов (рис. 1). Установлено, что распределение длины зерен в большей степени подчиняется логарифмически нормальному закону, распределение ширины – нормальному закону.

Рассчитаны статистические характеристики представленных выборок измерений (табл.).

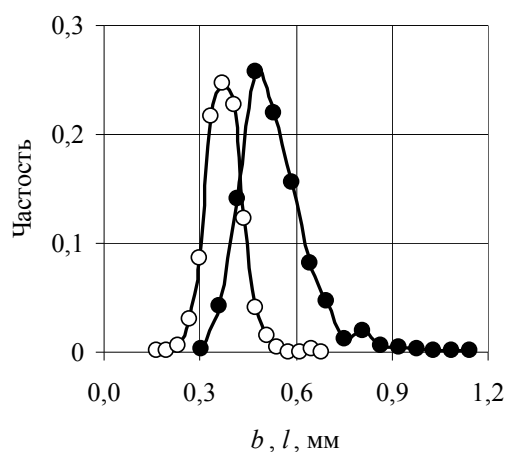


Рис. 1. Распределение длины l и ширины b зерен \circ – b ; \bullet – l

Важной характеристикой формы зерен является отношение l/b . По величине отношения l/b зёрна подразделяются на изометричные $l/b \leq 1,3$, промежуточные $1,3 < l/b \leq 2,0$ и игольчатые $l/b > 2,0$.

Форма зерен абразивных материалов, полученных ударным измельчением, характеризуется относительным постоянством. Средние размеры зерен абразивных материалов любой зернистости подчиняются следующему соотношению: $l : b = 1,5 \pm 0,2$ [1]. Если материалы, подвергаемые дроблению, не проходили предварительную класси-

кацию по форме, не имеют ярко выраженной анизотропии механических свойств и особенностей структуры, средние значения соотношения их размеров должны удовлетворять приведенному соотношению.

Статистические характеристики

Характеристики	b	l	l/b
Среднее арифметическое	0,377	0,533	1,440
Дисперсия	0,00296	0,01207	0,370
Стандартное отклонение	0,054	0,110	0,13704
Доверительный интервал	0,001	0,002	0,008
Коэффициент вариации	14,4	20,6	25,7

На основе экспериментальных данных найдено отношение l/b и получено распределение этого отношения (рис. 2).

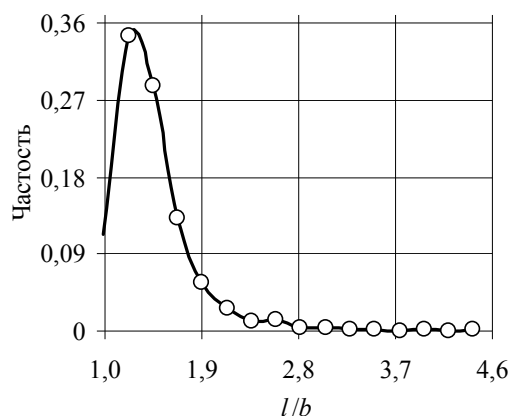


Рис. 2. Распределение отношения l/b

Внутри зернового состава коэффициент формы колеблется в широких пределах, изменяясь от 1 до 4 и более. Статистическая характеристика l/b приведена в табл. Как следует из табл. Среднее арифметическое отношение l/b в полной мере соответствует приведенному в [1].

Распределение отношений линейных размеров l/b согласно [2] можно аппроксимировать законом модуля разности. Данный закон обусловлен характером измерения. Распределению по закону модуля разности подчиняются абсолютные значения величин, которые с учетом знака распределены по закону нормального распределения. В этом случае отрицательные значения, которые могли бы получиться при учете знака, накладываются на положительные и кривая распределения получается несимметричной с более крутой восходящей ветвью.

Анализ экспериментальных данных показал, что из общего числа зерен около 41% относятся к изометричным, 52% - к промежуточным и 7% - к игольчатым.

Литература:

1. Рыбаков В. А., Дроздова О. Н. Влияние способа измельчения абразивных материалов на форму и физико-механические свойства полученных зерен// Абразивы. вып. 4, 1963. – С. 15–28.
2. Ящерицын П. И, Зайцев А. Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. – Минск: Наука и техника, 1972. – 480 с.
3. Искусственные абразивные материалы под микроскопом. – Л.: Недра, 1981. – 160 с.
4. Носенко В.А., Макушкин И.А. Методика снижения погрешностей при определении геометрических параметров абразивных зерен оптическим способом / В.А. Носенко, И.А. Макушкин // ИРБИС64 / Ин-т резание и технология машиностроения ; отв. ред. Катаева М.Э.