

УДК 621.838.22

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-45-53

Исследование влияния неплоскостности и биения фрикционных дисков на эксплуатационный ресурс муфт сцепления машин

Б. А. Гупалов, кандидат технических наук, Новоуральский технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Новоуральск, Россия

В. В. Закураев, кандидат технических наук, доцент, Новоуральский технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Новоуральск, Россия

В. Ш. Петренко, кандидат технических наук, Государственное специальное конструкторское технологическое бюро по механизации, Бровары, Украина

В работе приводятся данные результатов испытаний работоспособности фрикционных дисков, подвергнутых различным способам правки. При изготовлении дисков важно не только обеспечить их заданную геометрическую точность и правильную форму, но и сохранить геометрические параметры в процессе эксплуатации. Изложена методика проведения испытаний дисков на инерционном испытательном стенде ИКС-Т. Указаны основные узлы испытательного стенда и параметры нагружения дисков. Выполнены исследования влияния биения и неплоскостности фрикционных дисков на ресурс работы муфт.

Стендовые испытания позволили определить оптимальный диапазон биения дисков до 0,8 мм, обеспечивающий повышение безотказности работы муфт на 30 % вследствие уменьшения износа фрикционных дисков. Кроме того, результаты испытаний показывают, что при снижении неплоскостности с 1,2 до 0,3 мм ресурс фрикционных дисков увеличивается на 16 %, то есть износ дисков в режиме приработки с искажениями в геометрии происходит интенсивнее, чем у дисков с ровной поверхностью. При значении неплоскостности 0,3 мм диски приобретают улучшенные упругие характеристики. Определено, что повышенные значения износа дисков наблюдаются преимущественно по наружному диаметру вследствие биения и большей скорости скольжения по сравнению со скоростью скольжения на внутреннем диаметре.

Приведены расчетные зависимости предельного числа циклов нагружения от биения и неплоскостности дисков. Установлено, что при испытании дисков с неплоскостностью менее 0,3 мм появляется износ дисков с образованием тарельчатости формы. С целью придания правильной формы изделиям и исключения тарельчатости дисков предложена динамическая правка с комбинированным нагружением. Полученные расчетные зависимости могут быть использованы при проектировании промышленных универсальных установок циклического знакопеременного изгиба фрикционных дисков.

Ключевые слова: фрикционный диск, циклическое нагружение, остаточные напряжения, силы трения, биение, неплоскостность.

Введение

Фрикционные диски являются деталями, зачастую лимитирующими надежность муфт сцепления и гидроподжимных муфт коробок, а значит, влияют на экономическую эффективность транспорта [1]. Обеспечение при изготовлении фрикционных дисков минимальных регламентированных значений неплоскостности и биения является важной задачей для повышения надежности силовых муфт сцепления.

Традиционные технологии изготовления фрикционных дисков, включающие вырубку стального полотна диска, приклепывание асбофрикционных накладок и ступицы приводят к значительной деформации диска в сборе. Это происходит из-за релаксации остаточных напряжений в материале дисков. В результате в процессе эксплуатации муфты сцепления

с фрикционными дисками с повышенными значениями неплоскостности и биением возникают угловые зазоры между трущимися поверхностями, наблюдается интенсивный износ асбофрикционных накладок и их разрушение. Такие факторы приводят к отказу муфт сцепления грузовых и колесных машин [2].

Результаты исследований [3–8] показывают, что долговечность фрикционных дисков, определяющих надежность работы муфт сцепления, зависит в значительной степени от тепловой напряженности фрикционного узла. Из-за биения и неплоскостности фрикционных дисков не вся часть диска участвует в трении, и единичные пятна контакта диска, испытывающие перегрев, изнашиваются в большей степени. Из-за этого такие показатели фрикционного узла, как передаваемый крутящий момент, время на переключение передач фрикционного узла, могут

существенно отличаться от расчетной величины, что приводит к нарушению работы механизма в целом. Более того, влияние геометрических параметров фрикционных дисков на стабильность работы фрикциона в течение его жизненного цикла будет усиливаться, когда в сборе находится большее количество дисков (например, 14–20).

Применение вибрационного нагружения и знакопеременного изгиба для правки фрикционных дисков в качестве завершающей операции технологического процесса изготовления является новым эффективным способом, обеспечивающим снижения неплоскостности и биения поверхностей трения дисков. Данные технологии описаны в работах авторов настоящей статьи (см., например, Вестник ЮрГУ. Серия «Машиностроение», 2020, № 3, и др.).

Сохранение правильных геометрических форм маложестких изделий при их серийном производстве является непростой задачей. Данный вывод можно сделать, изучив работы не только по изготовлению дисков [9–13], но и длинномерных валов [14–19], а также изделий произвольной формы [20]. Маложесткие изделия – это изделия, у которых один из геометрических размеров намного больше, чем все остальные. Особенность данной задачи в том, что недостаточно точно воспроизвести геометрические размеры детали, требуется выдержать правильность формы изделия, сохраняя ее в течение длительного времени. Динамическая правка способствует снятию внутренних напряжений в материале изделий и сохранению правильной формы изделия. Так, после такой правки фрикционные диски имеют допустимые значения неплоскостности 0,15...0,5 мм и биения 0,2...0,8 мм, которые сохраняются в течение длительного времени.

Биение и неплоскостность фрикционных дисков в различной степени определяют износ дисков. Если биение дисков в муфте в некоторой степени компенсируется за счет несоосности вала самой муфты и вала двигателя, наличия зазоров в соединении ступица диска – вал муфты, то повышенная неплоскостность по своей природе в полной мере влияет на формирование фрикционного контакта трущихся дисков.

Цель исследования – установление влияния неплоскостности и биения фрикционных дисков на эксплуатационный ресурс муфт сцепления машин. Объект исследования – фрикционные диски с различной степенью отклонений от правильной геометрической формы. Фрикционные диски с повышенными значениями неплоскост-

ности и биения проходили традиционную ручную правку (термоправку), а диски с требуемыми значениями неплоскостности 0,15...0,5 мм и биения 0,3...0,8 мм – правку за счет пластического деформирования при знакопеременном изгибе полотна фрикционного диска в процессе правки.

Порядок проведения стендовых испытаний

Фрикционные диски с различными значениями неплоскостности и биения испытывались на инерционном стенде ИКС-Т, работающем в тормозном режиме (рис. 1). Испытания влияния неплоскостности и биения дисков проводились отдельно. Оценка износа фрикционных дисков производилась по изменению глубины утопания головок заклепок (36 шт.) с обеих сторон диска (рис. 2). Предельной величиной износа дисков являлось достижение местного износа 1 мм в любой зоне диска.

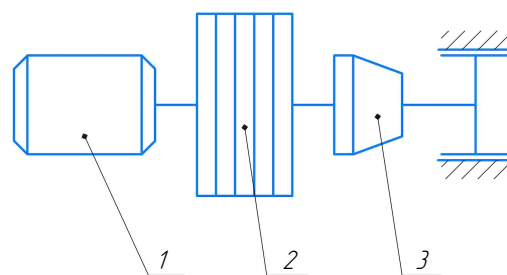


Рис. 1. Структурная схема стенда ИКС-Т для испытания дисков: 1 – электродвигатель; 2 – маховик; 3 – испытываемая муфта с дисками

Fig. 1. Block diagram of the IKS-T stand for testing disks: 1 - electric motor; 2 - flywheel; 3 - tested clutch with discs

Испытываемая муфта 3 с фрикционными дисками была застопорена и имела открытый маховик чашечной формы, взаимодействующий с нажимным и промежуточным дисками, между которыми размещались испытываемые фрикционные диски. С помощью электродвигателя 1 разгонялись инерционные массы 2. Затормаживание инерционных масс осуществлялось при включении муфты. Фрикционные диски муфты испытывали режим буксования за счет трения поверхностей фрикционных дисков с поверхностями маховика, нажимного и промежуточного дисков. Таким образом, испытываемые фрикционные диски получали износ поверхностей с обеих сторон. Испытания дисков прекращались при достижении износа 1 мм. Фрикционные диски имели величину биения 0,3...2,8 мм, а неплоскостность – 0,15...1,2 мм.

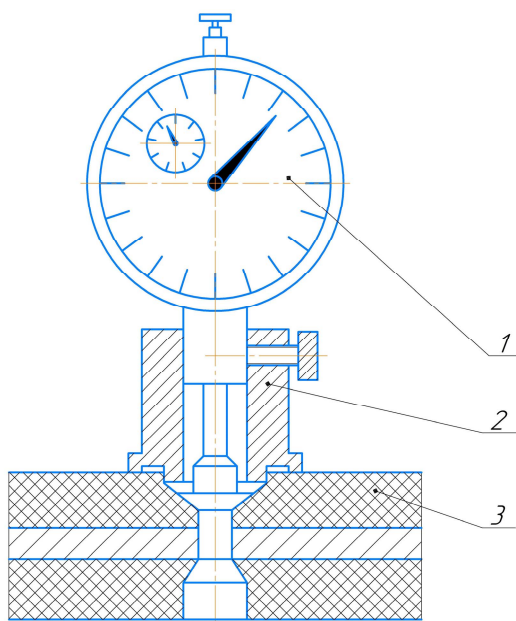


Рис. 2. Устройство измерения глубины утопания головок заклепок: 1 – индикатор; 2 – оснастка; 3 – фрикционный диск

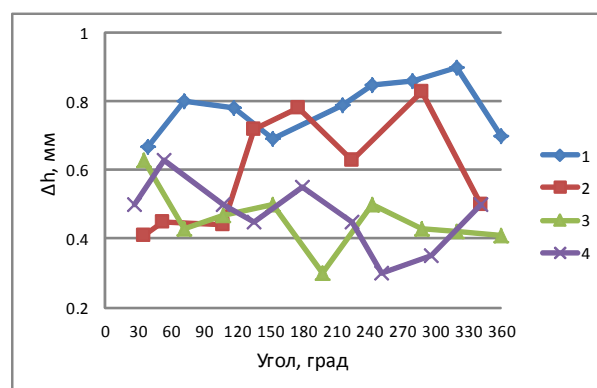
Fig. 2. Device for measuring the sinking depth of rivet heads: 1 - indicator; 2 - accessories; 3 - friction disc

Периодичность включений муфты составляла 45 с, удельная работа буксования – 16,7 кДж/м² с фиксированной температурой перед началом очередного включения 250 °С. Угловая скорость ведущих частей муфты перед включением составляла 28,3 с⁻¹, а приведенный к валу муфты момент инерции ведущих частей стэнда – 22,5 кг·м². Тепловой режим испытаний обеспечивался с помощью принудительного охлаждения муфты. Температура контролировалась по показаниям трех термопар, установленных в промежуточном диске. Значения удельной работы буксования приняты выше максимальных значений в реальных условиях, что приемлемо для сравнительных ускоренных испытаний по определению износостойкости пар трения.

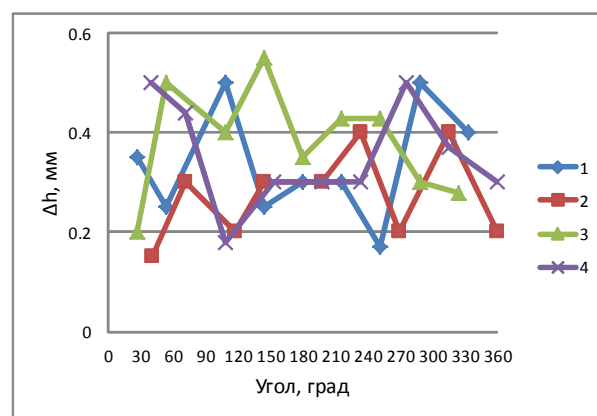
Периодичность замеров износа фрикционных дисков составила 250 циклов включения для всех дисков до достижения 750 циклов включений с последующим прогнозированием износа. При испытаниях дисков с биением 2,8 мм было установлено, что зонам минимального износа дисков на диаметре 300 мм с одной стороны диска соответствуют зоны максимального износа с другой стороны диска (рис. 3, а, кривые 1 и 2).

Аналогичная закономерность в изнашивании дисков получена на диаметре 240 мм (рис. 3, а, кривые 3 и 4). Износ дисков на диаметре 300 мм

выше, чем на диаметре 240 мм вследствие биения и большей скорости скольжения на наружном диаметре по сравнению со скоростью скольжения на внутреннем диаметре.



а



б

Рис. 3. Износ фрикционных накладок Δh от угла вращения диска с двух сторон: а – при торцевом биении 2,8 мм; б – при торцевом биении 0,4 мм; 1, 2 – по диаметру D = 300 мм; 3, 4 – по диаметру D = 240 мм

Fig. 3. Wear of friction linings Δh from the angle of rotation of the disk on both sides: а - with an end beating of 2.8 mm; б - with an end beating of 0.4 mm; 1, 2 - along the diameter D = 300 mm; 3, 4 - along the diameter D = 240 mm

Исследование зависимости влияния биения фрикционных дисков на эксплуатационные характеристики работы муфт

Фрикционные диски для испытаний в количестве 14 шт. имели наружный диаметр 340 мм, толщину стального полотна 2 мм, к которому с помощью заклепок по диаметрам 300 и 240 мм прикреплены накладки толщиной 4 мм. Для испытаний использовались серийно выпускаемые заводом-изготовителем. Фрикционные диски с одинаковым биением и неплоскостностью попарно устанавливались в муфте стэнда.

При испытаниях дисков с биением 0,4 мм закономерность изнашивания аналогична полученным значениям для дисков с биением 2,8 мм. Однако распределение износа дисков на диаметре 300 мм (рис. 3, б, кривые 1 и 2) и на диаметре 240 мм (рис. 3, б, кривые 3 и 4) у дисков с биением 0,4 мм более равномерное.

Результаты испытаний и их обсуждение

Анализ результатов стендовых испытаний показывает, что износ дисков с биением 2,8 мм значительно больше, чем у дисков с биением 0,4 мм (рис. 4). Износ дисков в режиме приработки с искажениями в геометрии происходит интенсивнее, чем у дисков с ровной поверхностью. В дальнейшем интенсивность износа уменьшается. В то же время диски с биением в пределах допуска характеризуются равномерным износом.

Полученные результаты по влиянию биения дисков объясняются целым рядом факторов. Биение дисков вносит существенные коррективы в кинематику работы муфты. При выключении муфты биение фрикционного диска препятствует полному разъединению муфты, т. е. не

обеспечивается заданная (расчетная) чистота выключения (рис. 5).

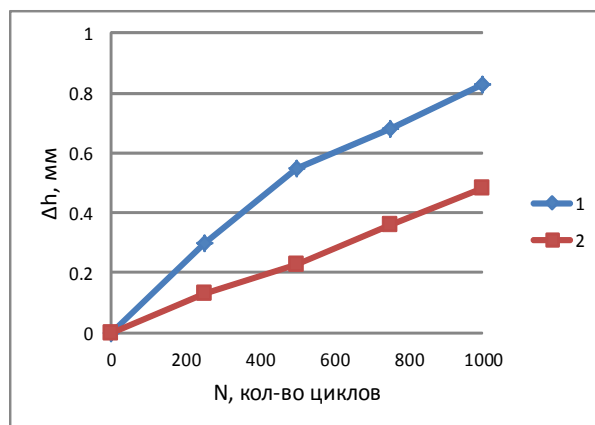


Рис. 4. Зависимость среднего износа Δh фрикционных накладок на диаметре 300 мм от числа циклов включений N : 1 – при биении диска 2,8 мм; 2 – при биении диска 0,4 мм

Fig. 4. Dependence of the average wear Δh of friction linings at a diameter of 300 mm on the number of switching cycles N : 1 - with a disc beating of 2.8 mm; 2 - with a disc beating of 0.4 mm

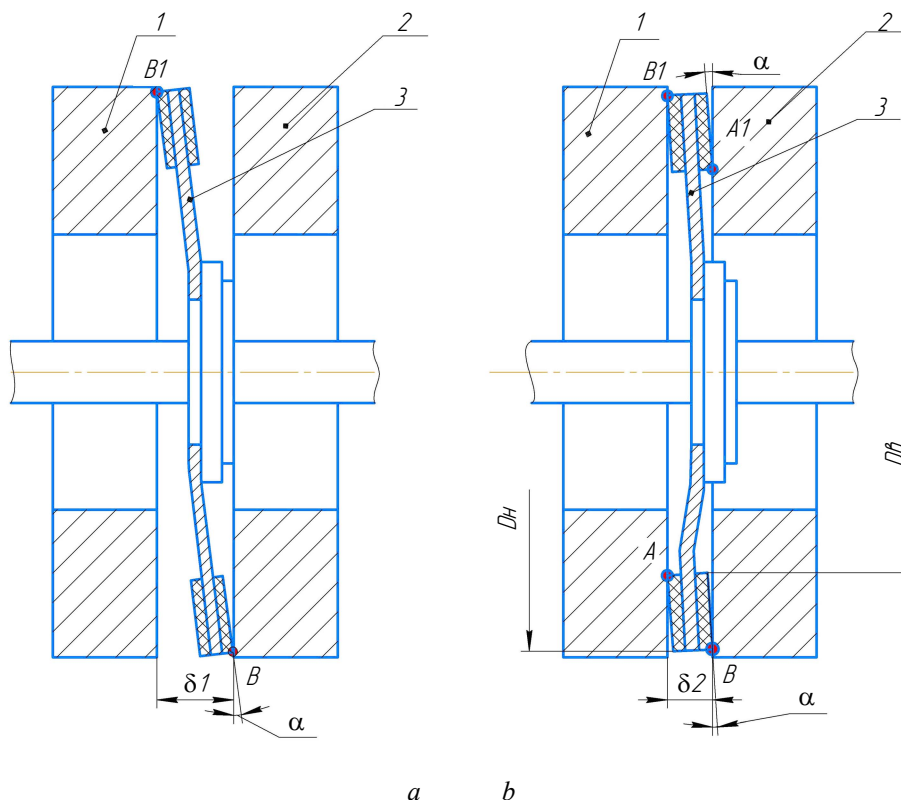


Рис. 5. Схема контактирования поверхностей трения: а – при выключенной муфте сцепления; б – включенной муфте сцепления; 1 – маховик; 2 – фрикционный диск; 3 – ведомый диск

Fig. 5. Scheme of contacting the friction surfaces: а - clutch disengaged; б - clutch engaged; 1 – flywheel; 2 - friction disc; 3 - driven disc

В этом случае фрикционный диск локально контактирует с поверхностями трения (см. рис. 5, *a*). Точки *B* и *B*₁ характеризуют зоны контактирования. При этом возникает статический момент трения, величина которого зависит от биения фрикционного диска. Как показали испытания, уменьшение биения фрикционного диска с 2,8 до 0,5 мм приводит к снижению статического момента трения с 9,8 до 3,43 Нм. Наличие статического момента трения не только отрицательно влияет на чистоту выключения муфты, но и определяет увеличение износа фрикционного диска.

При условии симметричного биения фрикционного диска относительно оси вращения соприкосновение поверхностей трения будет осуществляться по схеме (рис. 5, *b*). Наличие угловых зазоров α приводит к тому, что нажимное усилие в муфте распределяется неравномерно, а наибольшее усилие будет в точках *A*, *A*₁, *B* и *B*₁, характеризующих зоны контактирования. Отсутствие равномерного контакта приводит к повышению при трении и недогрузке участков фрикционного диска, не передающих крутящий момент. Непосредственным результатом такого перераспределения давлений является неравномерность изнашивания поверхности диска.

На рисунке 6 приведена зависимость числа циклов включений муфты *N* от биения диска ξ .

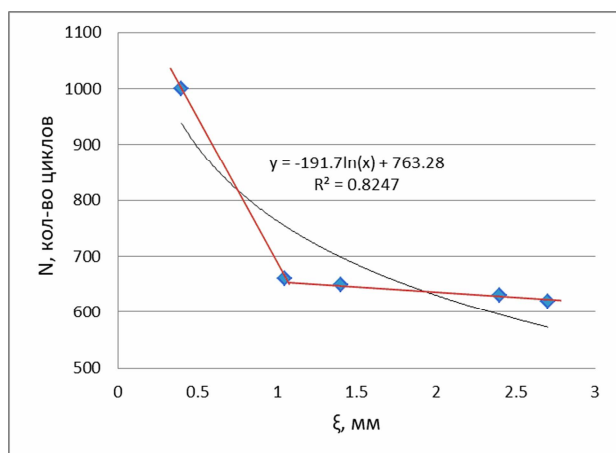


Рис. 6. Зависимость числа циклов включений *N* от биения дисков ξ

Fig. 6. Dependence of the limiting number of switching cycles *N* on the beating of disks ξ

Эта графическая зависимость может быть представлена:

1) в виде логарифмической кривой с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,82$;

2) двух линейризованных участков, описываемых следующими уравнениями:

$$N = 1150 - 475,5 \xi \quad \text{при } 0,5 < \xi < 1,08 \text{ мм}; \quad (1)$$

$$N = 685 - 25 \xi \quad \text{при } 1,08 < \xi < 3,0 \text{ мм}. \quad (2)$$

Стендовые испытания позволили определить оптимальный диапазон биения дисков до 0,8 мм, обеспечивающий повышение безотказности работы муфт на 30 % вследствие уменьшения износа фрикционных дисков.

Исследование зависимости влияния неплоскостности фрикционных дисков на эксплуатационные характеристики работы муфт

Фрикционные диски для испытаний в количестве 20 шт. имели наружный диаметр 445 мм, толщину стального полотна 3 мм, к которому с помощью заклепок в количестве 48 шт. прикреплены асбофрикционные секторы по 6 шт. с каждой стороны диска; 10 шт. дисков для испытаний были серийно изготовлены, другие 10 шт. – прошли правку знакопеременным изгибом и имели допустимые значения по неплоскостности.

Неплоскостность фрикционных дисков, отобранных для сравнительных стендовых испытаний, находилась в интервале 0,15...1,2 мм. Границы исследованного диапазона определены исходя из статистического анализа существующей технологии изготовления фрикционных дисков, предусматривающей ручную правку и правку знакопеременным изгибом.

Фрикционные диски с одинаковой величиной неплоскостности устанавливались в муфте и в повторно-кратковременном режиме нагружения на стенде ИКС-Т через каждые 250 циклов нагружения осуществлялись обмеры по износу дисков.

На рисунке 7 приведена зависимость числа циклов включений муфты *N* от неплоскостности диска Δ_n .

Эта графическая зависимость может быть представлена в виде линейризованных участков, описываемых следующими уравнениями:

$$N = -3600\Delta_n + 20 \quad \text{при } 0,15 < \Delta_n < 0,3 \text{ мм}; \quad (3)$$

$$N = -4500\Delta_n + 2450 \quad \text{при } 0,3 < \Delta_n < 0,39 \text{ мм}; \quad (4)$$

$$N = -150\Delta_n + 750 \quad \text{при } 0,39 < \Delta_n < 1,2 \text{ мм}. \quad (5)$$

Логарифмической кривой данную зависимость описать невозможно, поскольку видно, что величина достоверности аппроксимации низкая – $R^2 = 0,04$.

При снижении неплоскостности ресурс фрикционных дисков увеличивается. В интервале 0,3...1,2 мм наибольший ресурс имеют диски с неплоскостностью 0,3 мм. При значении

неплоскостности 0,3 мм диски приобретают улучшенные упругие характеристики. При сжатии дисков происходит постепенное увеличение площади контакта по мере распрямления дисков, что обеспечивает плавность включения. С другой стороны, при размыкании наличие неплоскостности обуславливает локальный контакт между соприкасаемыми поверхностями, благодаря чему момент холостого хода и тепло-выделение уменьшаются.

При уменьшении неплоскостности менее 0,3 мм для фрикционных дисков увеличивается износ дисков вследствие возрастания их жесткости, появления тарельчатости формы дисков, что характеризуется жесткостью включения-выключения муфт из-за уменьшения осевой податливости диска.

В результате совместной обработки графической зависимости предельного числа циклов включений от неплоскостности дисков с полигоном распределения значений неплоскостности после применения новых прогрессивных способов вибрационного нагружения и знакопере-

менного изгиба для правки определено, что средняя наработка до отказа увеличивается на 16 %. Оптимальным значением неплоскостности является величина 0,3 мм (см. таблицу).

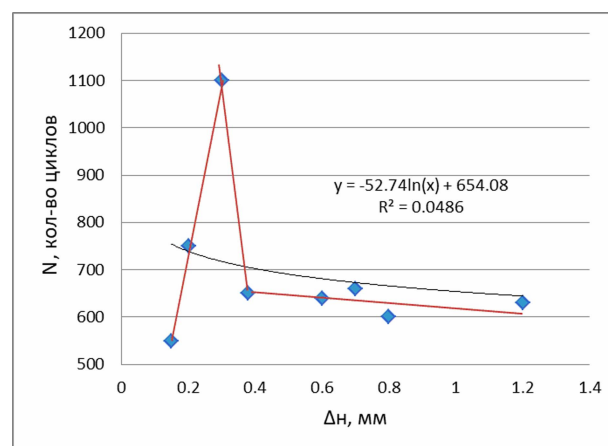


Рис. 7. Зависимость числа циклов включений N от неплоскостности дисков Δ_n

Fig. 7. Dependence of the limiting number of switching cycles N on the non-flatness of the disks Δ_{n-f}

Сравнительные результаты испытаний фрикционных дисков до и после правки

Comparative test results of friction discs

До правки				После вибрационного нагружения и знакопеременного изгиба			
Интервал неплоскостности, мм	Процент дисков в интервале неплоскостности, %	Ресурс, цикл	Средний ресурс	Интервал неплоскостности	Процент дисков в интервале неплоскостности, %	Ресурс, цикл	Средний ресурс
0,1...0,3	2	—	—	0,15...0,25	5	—	—
0,3...0,5	14	800	112	0,25...0,35	10	1100	110
0,5...0,7	18	660	119	0,35...0,45	50	800	400
0,7...0,9	54	630	340	0,45...0,55	30	680	204
0,9...1,1	8	600	48	0,55...0,65	5	660	33
1,1...1,3	4	570	23	—	м	м	—
Средний ресурс 642				Средний ресурс (увеличение 16 %) 747			

Результаты испытаний подтвердили высокую эффективность новых способов правки фрикционных дисков, обеспечивающих снижение биеения и неплоскостности. В зависимости от конфигурации дисков и их конструктивных особенностей меняется схема вибрационного нагружения и знакопеременного изгиба при правке.

Авторами настоящей работы созданы оригинальные схемы правки и установки для его осуществления (например, патент на изобретение РФ № 2484910, авторское свидетельство СССР № 721158). Процесс динамической правки изделий основан на вибрационном нагружении и знакопеременном изгибе полотна дисков. Спроектирован робототехнологический комплекс (РТК) для вибрационной правки фрикци-

онных дисков. При виброправке воздействуют на поверхность диска и запускают механизм релаксации остаточных напряжений.

При внедрении в производство новой технологии правки схема знакопеременного изгиба фрикционных дисков была реализована в промышленных установках ОД-025, ОД-029, ОД-32, ОД-035, ОД-037, ОД-038. На экспериментальной установке ОД-017 для правки дисков бортовых фрикционов для тракторов Т-100 и Т-130 исследован процесс знакопеременного изгиба изделий, отработаны режимы и условия напряженно-деформированного состояния изделий в процессе правки.

Правка знакопеременным изгибом осуществляется между расположенными в шахматном

порядке коническими роликами, оси которых расположены под углом. В процессе правки фрикционный диск вращается между верхними и нижними кассетами с коническими роликами. Образующие поверхности конических роликов перекрываются, кольцевое полотно диска нагружается, и возникает бегущая волна изгиба в зоне деформации. Затухающий характер действия знакопеременных напряжений изгиба достигается за счет смещения кассет с роликами относительно друг друга.

Так, в установке 286-083СБ для правки дисков карьерных самосвалов семейства БелАЗ предусмотрена возможность изменения угла наклона конических роликов с целью уравнивания напряжений изгиба на внутреннем и наружном диаметрах диска и снижения тарельчатости формы диска после правки. Испытания фрикционных дисков, прошедших правку знакопеременным изгибом, показали существенное увеличение работоспособности фрикционных тормозных дисков карьерных самосвалов семейства БелАЗ. Результаты отражены в работах Рудого В. В., Антонюка В. Е. (Вестник Полоцкого государственного университета. Серия «Прикладные науки», 2010, № 2).

Однако присущая тарельчатость формы дисков, особенно в случае пакетного применения в современных конструкциях муфт, в настоящее время ограничивает возможность максимального ресурса приводов с такими фрикционными дисками. Это создает необходимость применения в технологии изготовления фрикционных дисков технологической операции по выравниванию стального полотна за счет усилий сжатия в поперечном направлении, растяжения и кручения в тангенциальном направлении, знакопеременного изгиба в радиальном направлении. Такое комбинированное деформирование позволяет обеспечить упругопластическое деформирование стального полотна в пределах его искажений при напряжениях, приводящих к выравниванию дисков до заданных значений по биению и неплоскостности.

Выводы

1. Выполнены исследования влияния биения и неплоскостности фрикционных дисков на ресурс работы муфт. Стендовые испытания позволили определить оптимальный диапазон биения дисков до 0,8 мм, обеспечивающий повышение безотказности работы муфт на 30 % вследствие уменьшения износа фрикционных дисков.

2. Износ дисков в режиме приработки с искажениями в геометрии происходит интенсивнее, чем у дисков с ровной поверхностью.

3. Износ дисков на диаметре 300 мм выше, чем на диаметре 240 мм вследствие биения и большей скорости скольжения на наружном диаметре по сравнению со скоростью скольжения на внутреннем диаметре. При испытаниях дисков с биением 0,4 мм закономерность изнашивания аналогична полученным значениям для дисков с биением 2,8 мм. Однако распределение износа дисков на диаметре 300 мм и на диаметре 240 мм у дисков с биением 0,4 мм более равномерное.

4. При снижении неплоскостности ресурс фрикционных дисков увеличивается на 16 %. В интервале 0,3...1,2 мм наибольший ресурс имеют диски с неплоскостностью 0,3 мм. При значении неплоскостности 0,3 мм диски приобретают улучшенные упругие характеристики.

5. При уменьшении неплоскостности менее 0,3 мм для фрикционных дисков диаметром 445 мм увеличивается износ дисков вследствие возрастания их жесткости, появления тарельчатости формы дисков, что характеризуется жесткостью включения-выключения муфт при эксплуатации.

6. С целью исключения тарельчатости фрикционных дисков предложено комбинированное деформирование дисков при правке, обеспечивающее равномерность напряженного состояния в зоне деформации в радиальном, тангенциальном и перпендикулярном направлениях стального полотна диска, что в конечном итоге влияет на плоскостность фрикционного диска и исключает тарельчатость формы, уменьшается биение и неплоскостность дисков.

Библиографические ссылки

1. Труханов В. М. Надежность в технике. М.: Спектр, 2017. 656 с. ISBN 978-5-4442-0121-3.
2. Едгоров Ж. Н., Тожобаев А. А. Оценка экономической эффективности, надежности и качества муфты сцепления автобуса ISUZU // Достижения науки и образования. 2020. № 3 (57). С. 9–10.
3. Крыхтин Ю. И., Карлов В. И., Червоццев С. Е. Оценка чистоты выключения и повышение надежности работы главного фрикциона с дисками трения, работающими в масле // Инженерный журнал с приложением. 2020. № 10 (283). С. 49–56. DOI: 10.14489/hb.2020.10.pp.049-056.
4. Крыхтин Ю. И., Карлов В. И. Повышения долговечности и надежности работы в масле фрикционных устройств гидромеханической трансмиссии транспортной гусеничной машины // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017 № 12 (207). С. 63–69.
5. Володько О. С., Быченин А. П., Черников О. Н. Влияние давления разрядки гидроаккумулятора на

процесс переключения передач в коробках передач с гидроуправлением // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 21–35. DOI: 10.12737/38765.

6. Wu J., Wang L., Li L., Shu Y., Yang L., Lei T. Sliding State Analysis of Fractal Rough Interface Based on the Finite Element Method. *Materials*, 2021, 14, pp. 1-13.

7. Akash P., Abhishek T., Tript A., Baskar P. Optimal design of clutch plate based on heat and structural parameters using CFD and FEA. *International J. of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2018, vol. 9, no. 5, pp. 717-724.

8. Влияние принудительного жидкостного охлаждения пар трения автотракторных фрикционных муфт на их тепловую нагруженность / К. И. Городецкий, В. М. Шарипов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 1. С. 32–36. ISSN 0321-4443.

9. Антонюк В. Е. Динамическая стабилизация в производстве мало жестких деталей. Минск : Белорусская наука, 2017. 191 с. ISBN 978-985-08-2174-4.

10. Антонюк В. Е., Анисимов В. А. Обоснование условий вращения диска при проектировании установок динамической стабилизации // Актуальные вопросы машиноведения. 2018. № 7. С. 251–255. ISSN 2306-3034.

11. Jaroszewicz J., Lukaszewicz K., Antonyuk V. Design of vibrostabilisation stand for reducing residual stresses in disk used in the construction of multi-plate clutches and brakes. *Acta mecanica et automatica*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 37-44.

12. Антонюк В. Е. Особенности конструкции и технологии изготовления фрикционных дисков гусеничных и колесных машин // Механика машин, механизмов и материалов. 2016. № 3 (36). С. 43–52.

13. Antonyuk V., Sandomirskij S., Jaroszewicz J. Testing the possibility of estimation of residual stress based on gradient of magnetic field. *Przegląd Mechaniczny*, 2017, no. 2, pp. 9-13 (in Polish).

14. Ghasri-Khouzani M., Peng H., Roggec R., Attardod R., Ostiguyd P., Neidige J., Billof R., Hoelzleg D., Shankara M.R. Experimental measurement of residual stress and distortion in additively manufactured stainless steel components with various dimensions. *Materials Science & Engineering*, 2017, vol. 707, p. 689-700.

15. Бобровский А. В., Драчев О. И. Новая технология осевой горячей правки валов растяжением // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. № 9 (232). С. 11–15.

16. Зайдес С. А., Лэ Х. К. Оценка напряженного состояния цилиндрических деталей при поперечной правке // Технология металлов. 2019. № 2. С. 23–28. DOI: 10.31044/1684-2499-2019-2-0-23-28.

17. Зайдес С. А., Лэ Х. К. Оценка качества правки цилиндрических деталей поперечной обкаткой гладкими плитами // Вестник машиностроения. 2020. № 6. С. 72–76. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-6-72-76.

18. Манило И. И. Повышение точностных показателей качества правки валов в АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 4 (28). С. 63-67.

19. Świć A., Draczew A., Gola A. Method of achieving accuracy of thermo-mechanical treatment of low-

rigidity shafts. *Advances in Science and Technology Research J.*, 2016, no. 10, pp. 62-70.

20. Кроноткина Е. Ю. Технология правки нежестких деталей произвольной формы // Современные проблемы теории машин. 2016. № 4-2. С. 111–114.

References

1. Trukhanov V.M. *Nadezhnost' v tekhnike* [Reliability in technology]. Moscow, Spektr Publ., 2017, 656 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-4442-0121-3.

2. Edgorov Zh.N., Tozhibaev A.A. [Evaluation of economic efficiency, reliability and quality of the clutch of the ISUZU bus]. *Achievements of science and education*, 2020, no. 3, pp. 9-10 (in Russ.).

3. Krykhtin Yu.I., Karlov V.I., Chervontsev S.E. [Evaluation of the cleanliness of shutdown and increasing the reliability of the main clutch with friction discs operating in oil]. *Engineering journal with annex*, 2020, no. 10, pp. 49-56 (in Russ.). DOI: 10.14489/hb.2020.10.pp.049-056.

4. Krykhtin Yu.I., Karlov V.I. [Increasing the durability and reliability of the friction devices of the hydro-mechanical transmission of the transport tracked vehicle in oil]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 12, pp. 63-69 (in Russ.).

5. Volodko O.S., Bychenin A.P., Chernikov O.N. [The influence of the discharge pressure of the accumulator on the process of gear shifting in gearboxes with hydraulic control]. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, no. 3, pp. 21-35 (in Russ.). DOI: 10.12737/38765.

6. Wu J., Wang L., Li L., Shu Y., Yang L., Lei T. Sliding State Analysis of Fractal Rough Interface Based on the Finite Element Method. *Materials*, 2021, 14, pp. 1-13.

7. Akash P., Abhishek T., Tript A., Baskar P. Optimal design of clutch plate based on heat and structural parameters using CFD and FEA. *International J. of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2018, vol. 9, no. 5, pp. 717-724.

8. Gorodetsky K.I., Sharipov V.M. [Influence of forced liquid cooling of friction pairs of autotractor friction clutches on their thermal loading]. *Traktory i sel'kh ozmashiny*, 2017, no. 1, pp. 32-36. ISSN: 0321-4443.

9. Antonyuk V.E. *Dinamicheskaya stabilizatsiya v proizvodstve malozhestkikh detalei* [Dynamic stabilization in the production of low hardness details]. Minsk, Belarusian Navuka Publ., 2017, 191 p. (in Russ.). ISBN: 978-985-08-2174-4.

10. Antonyuk V.E., Anisimov V.A. [Justification of the conditions of disk rotation in the design of dynamic stabilization units]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*, 2018, no. 7, pp. 251-255 (in Russ.). ISSN: 2306-3034.

11. Jaroszewicz J., Lukaszewicz K., Antonyuk V. Design of vibrostabilisation stand for reducing residual stresses in disk used in the construction of multi-plate clutches and brakes. *Acta mecanica et automatica*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 37-44.

12. Antonyuk V.E. [Features of the design and manufacturing technology of friction discs for tracked and

wheeled vehicles]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2016, no. 3, pp. 43-52 (in Russ.).

13. Antonyuk V., Sandomirskij S., Jaroszewicz J. Testing the possibility of estimation of residual stress based on gradient of magnetic field. *Przegląd Mechaniczny*, 2017, no. 2, pp. 9-13 (in Polish).

14. Ghasri-Khouzani M., Pengb H., Roggec R., Attardod R., Ostiguyd P., Neidige J., Billof R., Hoelzleg D., Shankara M.R. Experimental measurement of residual stress and distortion in additively manufactured stainless steel components with various dimensions. *Materials Science & Engineering*, 2017, vol. 707, p. 689-700.

15. Bobrovsky A.V., Drachev O.I. [New technology of axial hot straightening of shafts by stretching]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 9, pp. 11-15 (in Russ.).

16. Zaides S.A., Le H.K. [Assessment of the stress state of cylindrical parts during transverse straightening].

Tekhnologiya metallov, 2019, no. 2, pp. 23-28 (in Russ.). DOI: 10.31044 / 1684-2499-2019-2-0-23-28.

17. Zaides S.A., Leh H.K. [Assessment of the quality of straightening of cylindrical parts by transverse rolling with smooth plates]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 6, pp. 72-76 (in Russ.). DOI: 10.36652/0042-4633-2020-6-72-76.

18. Manilo I.I. [Improving the accuracy indicators of the quality of shafts straightening in the agro-industrial complex]. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*, 2018, no. 4, pp. 63-67 (in Russ.).

19. Świć A., Draczew A., Gola A. Method of achieving accuracy of thermo-mechanical treatment of low-rigidity shafts. *Advances in Science and Technology Research J.*, 2016, no. 10, pp. 62-70.

20. Kropotkina E.Yu. [Technology of straightening non-rigid parts of arbitrary shape]. *Sovremennye problemy teorii mashin*, 2016, no. 4-2, pp. 111-114 (in Russ.).

Investigation of the Influence of Non-Flatness and Runout of Friction Discs on the Service Life of Machine Clutches

B.A. Gupalov, PhD in Engineering, Novouralsk Institute of Technology NRNU MEPhI, Novouralsk, Russia

V.V. Zakuraev, PhD in Engineering, Associate Professor, Novouralsk Institute of Technology NRNU MEPhI, Novouralsk, Russia

V.Sh. Petrenko, PhD in Engineering, State Special Design Technological Mechanization Bureau, Brovary, Ukraine

In the manufacture of discs, it is important not only to ensure their specified geometric accuracy and correct shape, but to maintain geometric parameters during operation. The method of testing disks on the IKS-T inertial test bench is described. The main units of the test bench and the loading parameters of the disks are indicated. Research has been carried out on the influence of the runout and non-flatness of friction discs on the service life of the clutches. Bench tests made it possible to determine the optimal runout range of discs up to 0.8 mm, which ensures an increase in the reliability of the clutches by 30 % due to a decrease in the wear of the friction discs. In addition, the test results show that with a decrease in non-flatness from 1.2 mm to 0.3 mm, the service life of the friction discs increases by 16 %, i.e. wear of discs in the running-in mode with distortions in geometry occurs more intensively than for discs with a flat surface. With an out-of-flatness value of 0.3 mm, the discs acquire improved elastic characteristics. It was possible to determine that increased values of disc wear are observed mainly along the outer diameter, due to the runout and higher sliding speed compared to the sliding speed on the inner diameter. Calculated dependences of the limiting number of loading cycles on the beating and non-flatness of discs are presented. It was found that when testing discs with the non-flatness less than 0.3 mm, disc wear appears with the formation of "poppet" disc shape. For the purpose of imparting the correct shape to the products with the exclusion of "poppet" discs, a dynamic straightening with combined loading is proposed. The resulting calculated dependencies will be used in the design of industrial universal installations for cyclic alternating bending of friction discs.

Keywords: friction disk, cyclic loading, residual stresses, friction forces, runout, non-flatness.

Получено 28.09.2021

Образец цитирования

Гупалов Б. А., Закураев В. В., Петренко В. Ш. Исследование влияния неплоскостности и биения фрикционных дисков на эксплуатационный ресурс муфт сцепления машин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 4. С. 45–53. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-45-53.

For Citation

Gupalov B.A., Zakuraev V.V., Petrenko V.Sh. [Investigation of the Influence of Non-Flatness and Runout of Friction Discs on the Service Life of Machine Clutches]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 4, pp. 45-53 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-45-53.