

Б.И. Бутаков, д.-р. техн. наук, С.И. Пастушенко, канд. техн. наук, В.А. Артюх, инж.

Николаевский государственный аграрный университет

Метод повышения долговечности подвижных соединений, работающих в условиях интенсивного износа

В статье рассмотрен метод поверхностного пластического деформирования стальных деталей обкатыванием их роликами. Установлено положительное влияние этого метода на износостойкость пар трения в условиях интенсивного абразивного изнашивания и при обильной смазке.

подвижные соединения, износ, пластическая деформация, стальные детали, обкатывание, абразивное изнашивание

Долговечность узлов, содержащих подвижный силовой контакт, может быть увеличена как повышением износостойкости материала деталей, так и оптимизацией рельефа контактирующих поверхностей [1,2]. Технологические методы обработки имеют ограниченные возможности влияния на параметры, определяющие износостойкость материала деталей, но могут быть использованы для получения благоприятного в отношении сопротивляемости изнашиванию рельефа поверхности деталей. Применяя различные способы обработки, можно получать поверхности, различающиеся не только высотой, но и формой неровностей [3].

Рассмотрим результаты исследования влияния некоторых методов обработки на износостойкость деталей в широко применяемых узлах: 1) стальной вал – бронзовые вкладыши; 2) поршень с резиновыми уплотнениями – стальная гильза; 3) винтовая пара, стальной винт – бронзовая или чугунная гайка; 4) стальной блок – каленый стальной канат.

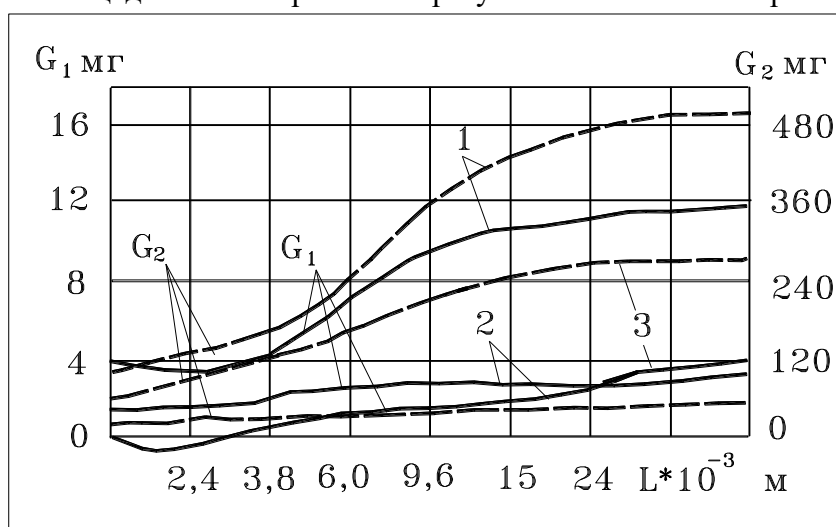
Исследование пары трения вал – вкладыш было проведено на образцах: вал из стали 40 диаметром 40 мм, вкладыши – из оловянистой бронзы Бр. ОЦС 8-21.

Стальные образцы были обработаны по трем вариантам: шлифованные (шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм); обкатанные роликом с чистовым режимом при усилии $P = 1,25$ кН, выбранном по методике [4], (шероховатость поверхности $R_a = 0,63$ мкм); обкатанные роликами с упрочняющим режимом при $P = 10$ кН (шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм). Поверхность вкладышей (втулок) после растачивания имела шероховатость $R_a = 2,5$ мкм.

Испытания пары трения выполнялись на машине трения МИ в режиме, приближенном к режиму работы вала с втулкой и корпуса дробящего конуса с подпятником в дробилках среднего и мелкого дробления (окружная скорость 25 м/мин, номинальная удельная нагрузка 5 МПа); образцы обильно смазывались машинным маслом. Измерение шероховатости и снятие профилограмм поверхности производилось на профилографе-профилометре завода «Калибр». Методика проведения исследований и технология изготовления образцов изложены в [5].

На рис. 1 приведены графики зависимостей износа образцов от пути трения, построенные для пути трения до $L = 9000$ м на основании испытаний 10 пар образцов, а в дальнейшем – двух пар образцов для каждого варианта обработки. В течение первых двух часов испытаний ($L = 3000$ м) на рабочих поверхностях стальных шлифованных

образцов и образцов, обкатанных роликом при $P = 10$ кН, наблюдалось намазывание бронзы, что привело в начале изнашивания к малому весовому износу шлифованных образцов и даже к увеличению веса образцов, обкатанных при $P = 10$ кН; на образцах, обкатанных роликом с $P = 1,25$ кН, намазывание бронзы не замечено. Коэффициент трения f в начале испытаний составлял для шлифованных образцов 0,127, а для образцов, обкатанных при $P = 1,25$ кН и $P = 10$ кН, соответственно 0,047 и 0,12. В дальнейшем, коэффициент трения достиг минимума ($f = 0,016$) для образцов, обкатанных при $P = 1,25$ кН, - через 2 часа ($L = 3000$ м), а при $P = 10$ кН - через 6–7 часов ($L = 10000$ м), для шлифованных же образцов даже через 42 часа ($L = 58000$ м) ($f = 0,027$), т.е. за время испытаний этой пары трения период приработки еще не закончился. Как видно, приработка стальных обкатанных образцов происходит в несколько раз быстрее, чем шлифованных; при этом износ шлифованных образцов за значительный период работы в 3 – 3,5 раза больше, чем обкатанных. Поскольку параметры шероховатости R_a шлифованных и обкатанных при $P = 10$ кН образцов одинаковы, то меньший износ последних можно объяснить повышенной твердостью и большей опорной площадью их поверхности в результате обкатывания роликом.



1 – вал шлифованный; 2 – вал, обкатанный роликом при $P = 1,25$ кН; 3 – то же, но при $P = 10$ кН

Рисунок 1 – Износ (потеря веса) стальных валов G_1 и работающих с ними в паре бронзовых вкладышей G_2 в зависимости от пути трения L

Минимальный износ имели образцы, обкатанные роликом при $P = 1,25$ кН; это обусловлено не только упрочняющим эффектом, но и обеспечением оптимальной шероховатости при данном методе обработки. Опорная площадь поверхности обкатанных образцов в верхних слоях в 1,5 – 2, а в нижних слоях – в 1,1 – 1,2 раза больше, чем шлифованных при соответствующем увеличении радиусов r закругления вершин выступов и уменьшении углов β° профиля у обкатанных поверхностей (см. табл.). Профилограммы поверхностей образцов до и после испытаний приведены на рис.2.

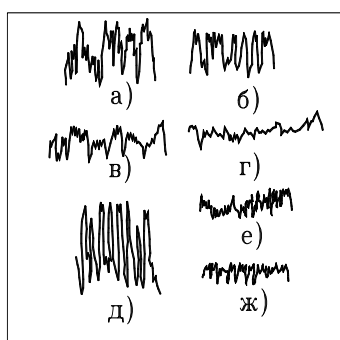
Высота неровностей обкатанной поверхности уменьшилась в 1,5 – 1,8 раза, а шлифованной – в 1,2 раза. Износ обкатанных поверхностей привел к некоторому уменьшению радиусов r закруглению вершин при почти неизменных углах β° профиля, а шлифованных – к увеличению как радиусов, так и углов профиля. Анализ характера изменений опорной (несущей) площади показывает, что на шлифованной поверхности при более интенсивном, чем на обкатанной поверхности, износе создается новая шероховатость с высотой, мало отличающаяся от исходной. На обкатанных же

поверхностях возникающая при их износе шероховатость образуется в основном за счет сглаживания вершин выступов без существенного распространения шероховатости в нижележащие слои упрочненного металла. Благодаря этому различие в величине опорной площади между шлифованной и обкатанной поверхностями в процессе их изнашивания возрастает еще больше.

Износ бронзового вкладыша определяется, как видно из рис 1, в основном параметрами шероховатости работающего в паре с ним стального вала. Так, наибольший износ имели вкладыши, сопряженные с шлифованным валом, рельеф поверхности которого характеризуется сравнительно с обкатанным валом меньшими радиусами r закругления вершин выступов и большими углами β° профиля. В данном случае износ вкладыша усиливается, кроме того, сопровождается шаржированием шлифованной поверхности абразивными зёрнами. Наименьший износ имели вкладыши, сопряженные с валами, обкатанными при $P = 1,25$ кН.

Таблица – Параметры шероховатости поверхности вала, вкладыша и гильз

Образец	Параметры шероховатости		Угол профиля β°	Радиус закругления вершин r , мкм
	R_a , мкм	R_z , мкм		
Вал стальной: шлифованный.....	1,8/1,5*	6,7/5,5	7/8	250/260
обкатанный при $P = 1,25$ кН	0,9/0,5	3/1,8	5/5	800/700
Вкладыш бронзовый... Гильзы:	<u>2,1</u> 0,8 – 0,6	<u>7,9</u> 3,1 – 1,8	<u>11</u> 6-2	<u>160</u> 250 – 650
расточенные.....	3/2,8	12/10	15	150
расточенные и шлифованные	1/0,9	3,8/3,4	15	70
расточенные и раскатанные	0,8/0,8	3/3	9	850
* Числитель – до испытаний, знаменатель после испытаний (для вкладыша первая цифра – после работы с шлифованным валом, вторая – после работы с обкатанным валом).				



a и *б* – валов стальных шлифованных до и после испытаний; *в* и *г* - валов стальных, обкатанных при $P = 1,25$ кН до и после испытаний; *д* – бронзовых вкладышей до испытаний; *е* и *ж* – бронзовых вкладышей, испытанных в паре с шлифованным валом и с валом, обкатанным при $P = 1,25$ кН

Рисунок 2 – Профилограммы поверхности образцов, снятые до и после испытаний (по вертикали $\times 4000$, по горизонтали $\times 40$):

Во всех случаях на поверхности вкладышей формируется новый рельеф поверхности ввиду того, что их линейный износ во много раз превосходит высоту неровностей исходной поверхности. При этом в случае работы с обкатанным валом резко увеличились радиусы r закругления вершин и уменьшились углы β° профиля. При работе с шлифованным валом наблюдалось аналогичное явление, но степень изменения параметров шероховатости вкладышей была меньшей. В обоих случаях после испытаний кривизна вершин неровностей поверхности вкладыша была близка к кривизне вершин на поверхности сопрягаемого вала. Если углы профиля для вкладыша, работающего в паре со шлифованным валом, становятся примерно одинаковыми с их значениями для вала, то для вкладыша, сопряженного с обкатанным валом, наблюдалось большее сглаживание вершин, что привело к меньшим значениям угла профиля на вкладыше, чем на валу. Это сказалось на создании большей опорной площади поверхности вкладышей, работающих в паре с обкатанным валом, чем и обусловлена их большая износостойкость.

В паре поршень с резиновыми уплотнениями – стальная гильза было исследовано влияние методов обработки гильз на износостойкость уплотнений.

Методика испытаний, проводимых на специальных стендах, была приближена к условиям работы пневмоцилиндров в эксплуатации [6]. Для исследований использовались резиновые манжеты по ГОСТу 6678 –65. Обработка внутренних поверхности гильз (сталь 40) диаметром 80 мм проводилась по трем вариантам: растачиванием с параметрами шероховатости, $R_a = 3$ мкм, $R_z = 12$ мкм, растачиванием и шлифованием ($R_a = 1$ мкм, $R_z = 3,8$ мкм), растачиванием и раскатыванием роликами ($R_a = 0,8$ мкм, $R_z = 3$ мкм). Режим раскатывания определяли по методике [4].

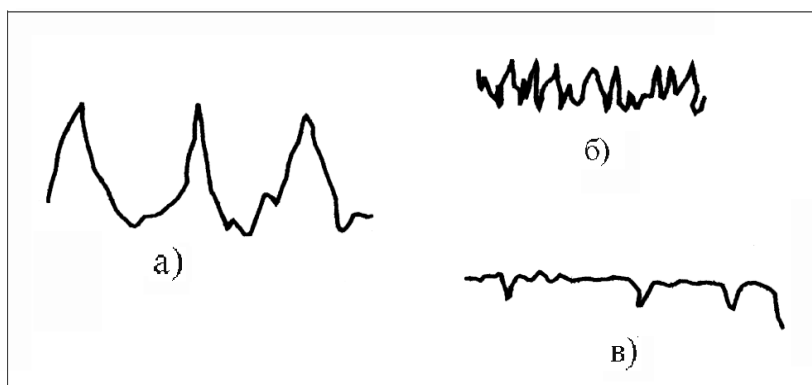
Испытания показали, что износ манжет, работающих в контакте с расточенными или расточенными и шлифованными гильзами, значительно больше, чем работающих в контакте с расточенными, а затем раскатанными гильзами. Особенно интенсивно изнашивание этих манжет в первый период работы ($L = 10 \div 15 \cdot 10^3$ м); продукты износа манжет в этот период представляют собой мелкую резиновую стружку, срезаемую острыми вершинами выступов неровностей поверхности гильз. Заметим, что износ манжет, работающих в расточенных гильзах, оказался несколько меньше, чем в шлифованных, хотя последние имели меньшую шероховатость поверхности. В гильзах расточенных, а затем раскатанных износ манжет с самого начала их работы протекает равномерно, продукты износа манжет наблюдаются в виде загрязняющих масло частиц истирания резины, а величина износа в 5 – 10 раз меньше, чем в шлифованных гильзах. Периодической проверкой уплотнений отключенных от сети цилиндров установлено, что падение давления в цилиндрах с шлифованными и раскатанными гильзами происходит в начале работы уплотнений примерно одинаково, после $L \approx 20 \cdot 10^3$ м пути трения в цилиндрах с шлифованными гильзами давление в течение 3 мин падает с 0,64 до 0,2 МПа, а в цилиндрах с раскатанными гильзами даже через 40 мин сохраняется на уровне 0,24 МПа. Очевидно, результаты испытаний рассматриваемой пары также следует оценивать в связи с параметрами шероховатости гильз, обработанных различными технологическими методами. При этом следует учитывать наличие на поверхностях шлифованных гильз абразивных зерен.

На рис.3 показаны профилограммы поверхности гильз, подготовленных к испытаниям. После испытаний происходит некоторое уменьшение высоты неровностей поверхности расточенных и шлифованных после растачивания гильз; поверхность гильз, обработанных растачиванием с последующим раскатыванием, не претерпевала заметных изменений в процессе работы.

При этом сохранилось значительное различие радиусов закругления вершин выступов шероховатости поверхности гильз, обработанных различными методами (см.

табл.). Углы профиля во всех случаях остались почти неизменными. Повышению износостойкости резиновых уплотнений также способствовало создание большей опорной площади у раскатанных поверхностей.

Данные об износостойкости винтовых пар с винтами, имеющими трапецеидальную резьбу шагом 12,7 мм и обкатанную пальцевыми роликами по методу огибания [4], получены на кантователе опок 27-тонного встряхивающего стола формовочной линии Уралмашзавода и на стане холодной прокатки труб ХПТ – 75



а – растачиванием; *б* – растачиванием и шлифованием; *в* – растачиванием и

Рисунок 3 – Профилотграммы поверхности гильз пневматических цилиндров, обработанных раскатыванием (по вертикали $\times 1000$; по горизонтали $\times 40$)

Первоуральского новотрубного завода. Бронзовые и чугунные гайки кантователя опок работают в среде, запыленной компонентами формовочной смеси (кварцевый песок SiO_2 – 90 - 96%, глинозем Al_2O_3 – 3%, остальное – MgO , Cr_2O_3 , $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO , NaO), и полностью изнашиваются за 1 – 3 месяца.

Тележка кантователя с опоккой, заполненной землей, и моделью общим весом 36 т установлена на четырех винтах. Винты изготавливаются из стали 40Х, гайки – из бронзы АЖМц 10 – 3 – 1,5 или серого чугуна. Расчетное давление в резьбе при равномерной загрузке всех четырех винтов составляет 2,55 МПа. Скорость скольжения в винтовых парах при подъеме и опускании опоки составляет 30 м/мин.

Перед установкой гаек к ним привертываются бронзовые резьбовые надставки. Назначение надставок - частично разгрузить резьбу на гайках и увеличить межремонтный срок работы кантователя. После определенного времени работы гаек с надставками последние снимались и по величине их износа оценивался износ гаек. Затем надставки заменялись новыми. После полного износа резьбы в гайках нагрузка воспринималась одними надставками. В этот период работы определялась износостойкость надставок.

Оценка износа винтов производилась измерением толщины его витка штангельным зубомером. Изношенные гайки и надставки разрезались по образующей. Измерение тощины витков в них производилось на инструментальном микроскопе. Для исключения влияния случайных факторов при испытаниях износостойкости винтовых пар обкатанные винты устанавливали в различных комбинациях с необкатанными во все четыре опорные точки кантователя.

Износ винтов за межремонтный срок составил 0,4 – 1 мм. Замена бронзовых гаек чугунными приводит к увеличению износа винтов на 35 – 50%. При одинаковом износе стойкость обкатанных винтов, работающих с бронзовыми гайками, выше, чем необкатанных, на 78%, работающих с чугунными гайками – на 54%. Износостойкость чугунных гаек несколько выше, чем бронзовых. Однако вследствие низкого

сопротивления чугуна изгибающей нагрузке стойкость чугунных гаек может быть снижена в результате поломки неполностью изношенного витка. Относительное увеличение стойкости гаек в результате обкатывания винта такое же, как и для самих винтов. Долговечность бронзовых надставок после износа гаек в результате обкатывания винтов увеличивается более, чем вдвое. Это объясняется тем, что надставки работают в самих неблагоприятных условиях (наибольшая запыленность и повышенные нагрузки). Следует заметить, что обкатывание винтов роликами полностью исключило задиры и заклинивания винтовых пар, которые до введения операции обкатывания винтов случались в период приработки. Гайки механизма подачи станов холодной прокатки труб изготовлены из бронзы АЖМц 10 – 3 – 1,5, винты – из стали 40Х. Расчетное давление в резьбе при снятии заготовки с оправки достигает 1 МПа, скорость скольжения в винтовой паре – 3 м/с. Винтовая пара работает в среде, насыщенной пылью и металлической окалиной. Наблюдение за износостойкостью винтовых пар велось на четырех станах ХПТ – 75, установленных в одном цехе и работающих примерно с равной производительностью. На двух станах были установлены винты с обкатанной резьбой и на двух – с необкатанной. Оценка износа винтов производилась измерением толщины витка штангельным зубомером. Износ винтов после их обкатывания роликом уменьшился в 2,6 раза.

Для упрочнения профиля ручья канатного блока судоперегрузжателя применено обкатывание его клиновым роликом. Однако повышение твердости поверхностного слоя на 25 – 30 % профиля ручья, полученного с помощью наклепа, не привело к уменьшению износа поверхности. Анализ процесса износа рабочей поверхности блока показал, что кроме истирания и смятия поверхности имеет место срезание поверхностного слоя отдельными калеными проволочками каната. Из теории резания металлов известно, что для срезания наклепанного металла затрачивается меньшая работа, чем при резании металла ненаклепанного. Такие же результаты получили М.М.Хрущев и М.А.Бабичев при сравнительных испытаниях на износостойкость наклепанных и ненаклепанных металлов во время износа их абразивными шкурками [7]. Твердость абразива значительно превышала твердость изнашиваемых материалов. Не обнаружил также влияния наклепа на износостойкость осевой стали В.Н.Кашеев [8] изнашивая ее абразивными кругами на керамической связке. Однако, исследуя износостойкость материалов при наличии в контакте трущихся поверхностей абразивных частиц М.М.Тененбаум [9], показал, что кварцевые зерна с твердостью, значительно превосходящей твердость сжимающих их пластинок, разрушаются. Причем разрушающая нагрузка резко уменьшается с повышением твердости одной из сжимающих пластинок.

С учетом вышеизложенного для повышения долговечности блоков был заменен металл блока: сталь 25Л – на сталь 45Л и введена закалка блока в масло. Твердость поверхностного слоя профиля ручья после закалки и обкатывания роликом составила примерно 400 НВ. Процесс срезания поверхностного слоя проволочками каната был устранен и долговечность блоков и работающих с ними канатов повысилась в 2 – 3 раза.

Доля эффекта в повышении износостойкости наклепанного поверхностного слоя, в отсутствие процесса его срезания, принадлежит и остаточным сжимающим напряжениям, образующимся в слое в результате пластической деформации [10].

Повышение износостойкости деталей за счет наклепа поверхностного слоя А.А.Маталин [11] считает следствием усиленной диффузии кислорода воздуха в упрочненный металл, в котором создаются твердые химические соединения FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , характерные для окислительного износа, протекающего с наименьшей интенсивностью. Предварительное упрочнение металла препятствует развитию

совместной пластической деформации металлов трущихся деталей, вызывающей холодную сварку – схватывание, являющуюся наиболее интенсивным видом износа.

Список литературы

1. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
2. Демкин Н.Б. Контактное трение шероховатых поверхностей. - М.: Наука, 1970. - 226с.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.
4. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сыроев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов. - Киев: Наукова думка, 1995. - 256 с.
5. Браславский В.М., Топычканов В.В. Обкатка деталей роликами как средство повышения износостойкости. В кн.: Производство крупных машин. Вып. XIX. - М.: Машиностроение, 1969. - С.56-60.
6. Браславский В.М., Топычканов В.В. Влияние раскатывания гильз пневмоцилиндров на износостойкость резиновых уплотнений. В кн.: Производство крупных машин. Вып. XIX. - М.: Машиностроение, 1969. - С. 60 - 64.
7. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Экспериментальные основы теории абразивного изнашивания // Вестник машиностроения. - 1964. - №6. - С. 56 - 62.
8. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел: Автореф. дис. ... доктора физ. мат. наук. - Томск, 1963. - 45 с.
9. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. - М.: Машиностроение, 1966. - 332 с.
10. Школьник Л.М., Шахов В.И. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. - М.: Машиностроение, 1964. - 184 с.
11. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. - Киев: Техника, 1971. - 144 с.

В статті розглянутий метод поверхневого пластичного деформування сталевих деталей обкатуванням їхніми роликами. Установлено позитивний вплив цього методу на зносостійкість пар тертя в умовах інтенсивного абразивного зношування і при рясному змащенні.

In the article the method of superficial plastic deformation of steel details is considered by their rollers. Positive influence of this method on wearproof of pairs of friction in the conditions of intensive abrasive wear and at the abundant greasing is set.

Получено 10.08.05