

УДК 621.787.4

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ОБКАТЫВАНИЯ ИХ РОЛИКАМИ

Б.И. Бутаков, доктор технических наук, профессор
Николаевский государственный аграрный университет

У статті представлено аналіз методу поверхневої пластичної деформації обкатування роликами сталевих деталей з метою підвищення їх зносостійкості і втомної міцності.

Ключові слова: підвищення зносостійкості деталей, пластична деформація, обкатування роликами.

Вступлення. Качество деталей определяется их долговечностью, сроком службы при эксплуатации машины. Поверхностный слой металла, наиболее нагруженный и наименее защищенный от вредных воздействий, значительно влияет на качество деталей. Между долговечностью деталей и характеристиками поверхностного слоя (шероховатостью поверхности, структурой, химическим составом материала, распределением по глубине механических свойств и остаточных напряжений), называемыми иногда характеристиками качества поверхности, существуют сложные, не всегда известные связи. Тем не менее, оценивая, как тот или иной способ обработки отражается на качестве деталей, часто ограничиваются определением характеристик качества поверхностного слоя металла. Например, определяют зависимость шероховатости или поверхностной твердости от режима обработки. В ограниченных пределах изменение отдельных свойств или даже одного какого-либо свойства поверхностного слоя может быть достаточным для грубого суждения о качестве деталей.

Анализ существующих исследований. При обкатывании поверхностный слой деталей не разрушается и не удаля-

ется. В процессе пластической деформации плотность металла снижается и в поверхностном слое возникают значительные сжимающие остаточные напряжения. Этим в основном определяется упрочняющий эффект обкатывания роликами для повышения усталостной прочности деталей, работающих на изгиб и кручение при циклических нагрузках [1].

Целесообразность деформационного упрочнения деталей весьма крупных размеров доказана И.В. Кудрявцевым [1], В.М. Браславским [2, 3], А.М. Школьников, В.И. Шаховым и другими. Ряд примеров приведен в табл. 1. При наличии достаточно больших партий деталей в условиях серийного производства режим обкатывания в каждом конкретном случае выбирается опытным путем в результате экспериментальной работы. Очевидно, что в условиях индивидуального производства такой подход непригоден. Необходимо устанавливать связи между указанными параметрами, достаточные для выбора режима обкатывания на стадии проектирования технологического процесса.

Постановка и решение задачи. В условиях индивидуального и мелкосерийного производства широкое и эффективное применение обкатывания роликами требует достаточно надежной методики выбора режима. Задача достаточно сложна, если учесть, что на результат обкатывания влияют восемь основных параметров: материал детали, ее форма, исходная шероховатость обкатываемой поверхности, диаметр и радиус профиля ролика, усилие, подача, число проходов. Последние пять параметров можно варьировать, создавая более или менее выгодные сочетания. Отчасти управляемым параметром является также исходная шероховатость поверхности детали.

Качество многих деталей определяется их износостойкостью. Обкатывание роликами влияет на долговечность подвижных соединений деталей, работающих на износ. Это влияние связано с наклепом обкатанных деталей, повышением их твердости в результате пластической деформации и с новым, сглаженным микропрофилем их обкатанной поверх-

ности. Влияние наклепа на стойкость деталей при абразивном износе и благотворное влияние сглаженного микропрофиля на износостойкость доказаны прямыми экспериментами на кантователе опок и на стане холодной прокатки труб [4].

Уточненная методика выбора режимов обкатывания представлена в работе [5]. Основой оптимизации режима согласно этой методике является выбор усилия обкатывания, достаточного для смятия исходной шероховатости, но еще не вызывающего образования волнистости обкатанной поверхности и шелушения металла поверхностного слоя. Такую методику, разработанную в основном для обкатывания деталей с прямолинейной образующей, можно успешно применить и для выбора режима обкатывания фасонных деталей. Это можно сделать на основе приведения кривизны детали и ролика в плоскости осевого сечения ролика.

Обкатывание валов, работающих в подвижном, обильно смазанном контакте с бронзовыми вкладышами, уменьшает износ валов в 3 раза, а износ вкладышей – более чем в 10 раз. Эти данные получены при испытаниях на машине МИ образцов, моделирующих контакт вала дробящего конуса с эксцентрик конусной дробилки.

Раскатывание роликами является оптимальным способом чистовой обработки гильз пневмоцилиндров, качество которых определяется стойкостью резиновых уплотнений поршня. Опыты на специальных стендах показали, что в начале работы шлифовальная гильза изнашивает уплотнения в 10 раз интенсивнее, чем раскатанная [4].

Тяжелое машиностроение характеризуется широкой номенклатурой деталей, разнообразием размеров и форм обрабатываемых поверхностей, индивидуальным и мелкосерийным типом производства. В этих условиях эксплуатационный эффект обкатывания и степень влияния его на качество деталей часто остаются невыясненными. Обкатывание роликами – высокопроизводительный технологический способ, позволяющий получить заданную чертежом

шероховатость поверхности. Кроме того, известно, что технологические возможности чистовой обработки зачастую не могут удовлетворить обоснованным требованиям конструкторов. Внедрение в производство обкатывания роликами позволяет повысить требования к чертежу, приблизить изготавливаемую деталь к конструкторскому идеалу.

В производственной практике обкатывание роликами применяют на токарных, карусельных, расточных, строгальных и фрезерных станках при обработке наружных, внутренних плоских и фасонных поверхностей. В табл.2 приведены примеры использования чистового обкатывания роликами в заводских условиях. Наряду с шероховатостью поверхности, проставленной на чертежах, указана шероховатость, желательная по условиям эксплуатации, но недостижимая без обкатывания роликами.

Некоторые детали вообще не могут быть изготовлены без обкатывания. Например, после того как литая заготовка корпусов распределителей шихты была заменена сварно-литой, стало практически невозможно чисто обработать на карусельном станке цилиндрическую поверхность. Сварная часть детали представляет собой цилиндр диаметром **2,3** м и высотой **900** мм, свальцованный из стального листа толщиной **30** мм. Продольный сварной шов не позволяет чисто обточить поверхность широким резцом. Применение специальных приспособлений для шлифования также не дает результатов из-за недостаточной жесткости обрабатываемой детали и большой вязкости материала. Шероховатость поверхности, соответствующую параметру $R_a = 1,25$ мкм, получают обкатыванием роликом после сравнительно грубого обтачивания корпусов с шероховатостью $R_z = 40-80$ мкм. Нередко обкатывание заменяет слесарную доводку поверхностей крупных деталей, причем не только механизмуется ручной труд и сокращаются трудозатраты, но сохраняется точность обрабатываемых поверхностей, неизбежно нарушаемая при ручной доводке. Таким способом была решена проблема чистовой обработ-

ки отверстий в станинах прошивного стана трубопрокатного агрегата, фасонного профиля зубчатых валков для прокатки волнистых листов.

Введение обкатывания плоскостей на квадратных хвостовиках нажимных винтов прокатных станков на продольно-фрезерных станках взамен слесарной доводки снизило шероховатость поверхности, не нарушая формы призматического тела хвостовиков.

Обкатывание роликами открыло большие возможности чистой обработки фасонных поверхностей различных типов. Постоянной проблемой в тяжелом машиностроении является чистовая обработка крупных винтовых нарежек на нажимных и ходовых винтах, червяках и других подобных деталях. Эта проблема решена применением специальных устройств для обкатывания крупных резьб самоустанавливающимися игольчатыми роликами, опирающимися на торо-конические шайбы. Обкатывание резьб весьма производительно, а главное – оно позволяет получить шероховатость поверхности с $R_a = 0,32-0,63$ мкм, что существенно уменьшает износ бронзовых гаек.

Для поверхностного пластического деформирования (ППД) отверстий и валов применяются планетарные обкатывающие устройства, в которых в качестве деформирующих элементов используются конические или цилиндрические ролики, обеспечивающие получение на поверхности обрабатываемой детали каплевидного отпечатка. При обработке крупных валов в индивидуальном и мелкосерийном производствах на заводах тяжелого машиностроения находят применение устройства с самоустанавливающимися цилиндрическими роликами диаметром 32 мм, которые позволяют снизить шероховатость поверхности с $R_z = 10...20$ мкм до $R_a = 0,16 \div 0,32$ мкм при подачах на оборот детали $s = 6...8$ мм/об [5], но при твердости детали 160НВ необходимы усилия до 60 кН.

В связи с расширяющимся применением деталей, наплавленных сталями марок 06X19H9T, 3X13, 20X10Г10Т

и прочее (главным образом в тяжелых гидравлических прессах), возникла необходимость в чистовой обработке ППД наплавленных поверхностей. Обкатывание таких поверхностей обычными торообразными роликами сопровождается образованием волнистости из-за периодической (по шагу наплавки) переменной твердости наплавленного металла (при шаге наплавки 16 мм колебание твердости 170-225HV10). Поэтому для обкатывания подобных деталей в качестве деформирующего элемента применяют бочкообразный ролик диаметром 12,5 мм с радиусом рабочего профиля 600 мм [5]. При таком радиусе контакт ролика с обрабатываемой поверхностью превышает шаг наплавки, а малый диаметр ролика обеспечивает интенсивную деформацию металла, несмотря на уменьшение кривизны ролика в его осевом сечении.

Количество опорных роликов выбирают в зависимости от требуемого усилия обкатывания и диаметра рабочего ролика. Для рабочего ролика диаметром 12,5 мм при усилиях обкатывания до 60 кН принята шестироликовая схема. Рабочий ролик опирается на два промежуточных ролика, которые лежат на трех опорных роликах, установленных на осях в поворотной головке. В осевом направлении положение рабочего ролика фиксируют упором, изготовленным из стали ХВГ и закаленным до твердости 60-62HRC. Промежуточные и опорные ролики с торцами опираются на упорные шариковые подшипники. Головка крепится к штоку с помощью винтов, позволяющих выверять ее угловое положение для уменьшения осевой составляющей усилия обкатывания на рабочем ролике. Усилие обкатывания создают гидроцилиндром и определяют манометром. Оно передается на ролик через пакет тарельчатых пружин, снижающих жесткость системы.

С помощью устройства обкатывают, например, рабочие поверхности плунжера диаметрами 650 и 1340 мм и длиной более 3000 мм, наплавленные сталью 06X19H9T. Под обкатывание плунжер обтачивают широким резцом с пода-

чей 4 мм/об. Ось рабочего ролика устанавливают горизонтально, для чего роликовую головку устройства выверяют маятниковым угломером. При усилии обкатывания 42,5 кН, продольной подаче 3 мм/об. и скорости обкатывания 35 м/мин получена шероховатость поверхности $R_a = 0,63$ мкм при исходной $R_{\text{я}} = 20$ мкм. После обкатывания твердость поверхностного слоя повышается на 10% по сравнению с исходной, и, что особенно существенно, выравнивается; ее колебания в пределах одного шага наплавки, достигавшие 27%, снижаются до 10%. Больше увеличение твердости (на 50-55%) достигается при обкатывании плунжеров, наплавленных сталью 20Х10Г10Т. В результате обкатывания гидроабразивный износ наплавленных плунжеров уменьшается на 15-18% и заметно повышается их кавитационная стойкость.

Наклеп поверхностного слоя, полученный при обкатывании роликами способствует (как показали лабораторные исследования) замедлению процесса смятия поверхностного слоя стальных деталей, эксплуатирующихся при больших контактных нагрузках. К таким деталям относятся канатные блоки судоперегрузателей, автокранов, полиспасты мелиоративных машин. Профиль ручья блока для стальных канатов претерпевает существенные отрицательные изменения в процессе эксплуатации. За счет нормальных и касательных напряжений, возникающих в поверхностном слое профиля ручья блока в зоне контакта его с канатом, происходит пластическая деформация. На поверхности ручья возникают изменения профиля глубиной до нескольких миллиметров, что приводит к интенсивному износу стального каната и к появлению вибрации в приводе каната. Для обкатывания ручья блока разработаны способ и устройство с клиновым роликом. Обкатывание всего профиля осуществляется на карусельном станке за одну установку ролика в ручье, в процессе только вращения детали. Боковые поверхности клинового ролика образуют на поверхности ручья синусоидальные следы шириной 3-4 мм, которые, сдвигаясь в направлении вращения детали,

Таблица 1

Деформационное упрочнение крупных деталей

Характеристика упрочняемых деталей		Способ упрочнения	Эффект упрочнения	Способ испытания
Название	Поверхность упрочнения			
1	2	3	4	5
Штоки штамповочных молотов с массой падающих частей 6,5-7 т (сталь 35ХНВ)	Зона запрессовки стебля диаметром 220 мм с коническим концом	Обкатывание роликом с усилием 35 кН	Увеличение долговечности в 2,5 раза	Статистический анализ данных эксплуатации за 3 года
Сборный коленчатый вал паровой машины мощностью 7350 кВт (сталь 35ХНВ)	Подступичные части диаметром 500 мм шеек, щек перед запрессовкой, галтели R 10 мм	Обкатывание роликом и шариком (галтели) с усилием 60 кН Чеканка пневматическим ударником с энергией удара 80 Дж	Ликвидация трещины в галтелях и поворотов шеек в щеках	Наблюдение в процессе эксплуатации в течение 4 лет
Цилиндры тяжелых гидротрессов с рабочим усилием 70 МН (сталь 35НМ)	Галтель R 35 мм и пригалтельные зоны	Чеканка пневматическим ударником с энергией удара 80 Дж	Увеличение долговечности с 250 до 930 тыс. циклов	Наблюдение за эксплуатацией пяти цилиндров пресса
Колонны прессов, валы конусных дробилок крупного дробления (сталь 40, 34ХН1М)	Упорные резьбы с шагами 12-24 мм	Чеканка вибрирующим роликом с энергией удара 32 Дж	Увеличение предела выносливости на 50% при изгибе	Испытания образцов с резьбой УП 215х12 на циклический изгиб в одной плоскости

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Станинные ролики прокатных станов, центральные цапфы, оси экскаваторов ЭКГ-4,6 и др. (сталь 40, 40Х, 34ХН1М)	Галтели R 8, 10, 15, 20	Обкатывание роликами с биением рабочего профиля при усилиях 5-25 кН	Повышение предела выносливости на 30-50%	Испытания ступенчатых образцов диаметром 180 мм при круговом изгибе
Валы конусных дробилок крупного дробления (сталь 40, 34ХН1М)	Подступичные части диаметром 400-600 мм	Обкатывание гидроустройством с усилием 70 кН	Увеличение предела выносливости на 50-80% при изгибе	Испытания на круговой изгиб образцов диаметром 180 мм
Бортовые шестерни экскаваторов ЭКГ-4,6 (сталь 30ХМЛ, 34ХН1М)	Корень зубьев $t = 26$ мм	Поперечное обкатывание на специальном станке с номинальным усилием 13 кН	Увеличение долговечности в 2-4 раза	Испытания натуральных образцов на циклический изгиб при пульсирующей нагрузке
Конические шестерни привода конусных дробилок мелкого и среднего дробления (сталь 34ХН1М)	Корень зубьев $t = 30$ мм	Обкатывание винтовыми роликами на специальном станке с номинальным усилием 7 кН	Увеличение долговечности в 2-10 раз	То же
Полуоси экскаваторов ЭКГ-5 (сталь 34ХНМ)	Корень шлицов Д10х210х230	Чеканка роликами с энергией удара 18 Дж	Увеличение долговечности в 2 раза	То же

Таблица 2

Чистовое обкатывание крупных деталей роликами

Характеристика обрабатываемых деталей	Шероховатость, Ra		Способ обработки и шероховатость поверхности до внедрения обкатывания	Способ обработки после внедрения обкатывания	Шероховатость Ra, мкм			
	Обрабатываемая поверхность	Шероховатость, Ra						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Роторы (сталь 34ХН1А)	Шейки диаметром 600 мм. Бочка диаметром 1700 мм, L = 6000 мм	1,25	2,5	Полирование абразивной шкуркой после обкатывания	2,5	Обтачивание	12,5	1,25
Штанги прессов (сталь 50)	Вал диаметром 1000 мм, L = 5800 мм	0,63	2,5	То же	2,5	То же	12,5-6,3	0,63
То же	Резьба УП 80Х64 L = 2100 мм	0,63	2,5	Полирование абразивной шкуркой	2,5	То же	6,3	0,63
Винты нажимные прокатных станов (34ХН1М)	Плоскости квадратного хвостовика 300 300 2380 мм	1,25	2,5	Слесарная доводка	2,5	Фрезерование	12,5	1,25
Корпуса распределителей шихты (сталь М, Ст. 3)	Наружная цилиндрическая поверхность диаметром 2380 мм, L = 900 мм (продольный сварочный шов)	1,25	2,5	Шлифование на карусельном станке с последующим полированием	Задир, следы вибрации	То же	50	1,25

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Корпус конусов конусных дробилок (сталь 35Л)	Сфера R= 1100 мм, диаметром 1340 мм	1,25	1,25	Обтачивание пластинами радиусного профиля с последующим полированием	2,5 (задиры)	Обтачивание по копиру	6,3	1,25
Раструбы кристаллизаторов для полунепрерывной отливки труб (сталь Ст.3)	Внутренняя поверхность с профилем переменной кривизны	1,25	1,25	Не обрабатывались		То же	6,3	1,25
Канатные барабаны драговых лебедок (сталь 35Л)	Винтовой ручей R=35 мм на диаметре 3100 мм, L = 2710 мм	2,5	6,3	Обтачивание широким резцом	12,5 (следы вибрации)	Обтачивание	12,5	1,25
Станины прошивных станов трубопрокатных агрегатов (сталь 35Л)	Отверстие диаметром 2300 мм, L = 5860 мм	2,5	6,3	Слесарная доводка после растачивания	6,3 (нарушение формы)	Растачивание	50	2,5
Втулки шатунов буровых насосов (бронза ОС-8-12)	Отверстие диаметром 160 мм, L = 180 мм	0,63	2,5	Шабрение		То же	12,5	0,63
Вкладыши подшипников (баббит Б-83)	Отверстие диаметром 140, L = 150 мм	1,25	1,25	Растачивание	6,3	То же	6,3	1,25
Направляющие металлорежущих станков (чугун)	Плоскости (300-500) (10000-17000) мм ²	1,25	1,25	Шабрение	1,25	Строгание	6,3	1,25
Стенки кристаллизаторов плоского и волнистого профиля (медь МЗ, НУ 60)	Плоскость 1200 800 мм ² или волнистая поверхность с шагом волн 10 мм и высотой 3 мм	0,63	2,5	Не обрабатывались		То же	6,3	0,63
Рабочий профиль канатных блоков судоперегрузателей	Две конические поверхности с углом профиля 20	0,63	2,5	Тоčenje на карусельном станке с программным управлением	2,5	Тоčenje на карусельном станке с программным управлением	2,5	0,63

постепенно покрывают всю поверхность ручья. Усилие на ролике величиной до 20 кН создается цилиндрической пружинной. Механизм подачи бокового суппорта разгружается с помощью закрепления его на направляющих станка винтовыми зажимами. Глубина наклепа поверхностного слоя составляет 5-6 мм, степень наклепа – до 50%. Однако обкатывание роликом профиля канатного блока, изготовленного из стали 35Л, несмотря на значительный наклеп, не привело к заметному повышению долговечности блока, так как кроме смятия профиля блока наблюдается срезание поверхностного слоя блока отдельными проволочками каната. Замена марки стали блока на сталь 45Л и применение закалки блока в масло с последующим обкатыванием его ручья роликом позволили повысить твердость поверхностного слоя ручья до HV 400, что привело к повышению долговечности блоков в два-три раза [6].

Вывод. В статье приведены обзор и анализ существующих в промышленности способов поверхностного пластического деформирования деталей и разработанных автором технологий и устройств для повышения износостойкости пар трения, контактной прочности на смятие и усталостной прочности различных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев И. В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении / И. В. Кудрявцев — М.: Машгиз, 1951. — 278 с.
2. Браславский В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский — М.: Машиностроение, 1975. — 160 с.
3. Браславский В. М. Обкатка деталей роликами как средство повышения износостойкости / В. М. Браславский, В. В. Топычканов — В кн.: Производство крупных машин, Вып. XIX. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 56 — 60.
4. Повышение долговечности изделий с помощью поверхностного пластического деформирования / [Б. И. Бутаков, В. А. Артюх, О. А. Анисимов, А. Т. Удодов] // Тяжелое машиностроение. — 2006.— №9.— С. 26—32.
5. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев — К.: Наукова думка, 1995. — 256 с.
6. Бутаков Б.И. Исследование и разработка способа обкатывания роликами стальных деталей с целью повышения их контактной прочности / Б.И. Бутаков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — Кіровоград: КНТУ, 2007. — Випуск 37. — С. 63—74.