

1. Уравнение баланса подачи и расхода озона в топочную камеру котла является динамическим и для его составления можно использовать выражения в дифференциальной форме.

2. Зависимость концентрации озона от интенсивности горения является сложной функцией. При этом рассматриваемые величины характеризуются как прямым, так и обратным влиянием.

3. По мере подачи озона в топочную камеру сначала происходит увеличение его концентрации, а затем — снижение. Экстремальный характер исследуемой зависимости может быть объяснен явлением интенсификации горения и связанным с ним повышением потребности в окислителе.

4. Поддержание высокого уровня концентрации озона при минимуме энергетических затрат может быть достигнуто за счет работы озонатора в импульсном режиме.

#### Список литературы

1. Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК // Международный научный журнал. — 2011. — № 5. — С. 83–91.

2. Андреев С.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающий способ повышения эффективности газовых котлов // Опыт и проблемы управления модернизацией инновационной деятельности в социально-экономических и технических системах: монография. — Пенза: РИО ПГСХА, 2012. — С. 71–93.

УДК 621.629.3; 669.54.793

*С.К. Тойгамбаев, канд. техн. наук*

*С.Н. Романюк*

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

*С.О. Нукешев, доктор техн. наук*

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфулина, Республика Казахстан

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РОЛИКОВЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Несмотря на определенные трудности, которые сложились в производстве ремонта сельскохозяйственных, транспортных и технологических машин, продолжают решаться вопросы совершенствования существующих технологических процессов восстановления деталей и узлов данных машин, а также разработка новых процессов их ремонта. Применение прогрессивных технологий при восстановлении изношенных деталей в 5...8 раз сокращает количество операций по сравнению с их изготовлением, в 10...20 раз снижается расход материалов. В результате применения ремонтных технологий себестоимость восстановления многих деталей составляет 60...80 % от себестоимости новых. В настоящее время разработка новых технологий ремонта изношенных деталей или совершенствование существующих восстановительных операций становятся еще более актуальными, потому что стоимость новых машин такова, что во многих случаях эксплуатирующие организации зачастую не имеют возможности их приобретения.

Большинство деталей сельскохозяйственных, транспортных и технологических машин выходят из строя из-за потери функциональных свойств, связанных с износом сопрягаемых поверхностей. Поэтому, как правило, рекомендуемые ремонтные технологии связаны с восстановлением изношен-

ных поверхностей до их номинального размера, при этом одновременно ставится задача повысить износостойкость восстанавливаемой поверхности по сравнению с заводской (новой) деталью. Это особенно важно при ремонте деталей, изготовленных из достаточно дефицитных материалов. К таким материалам относятся цветные сплавы, в основном, бронзовые сплавы. Чаще всего конструкции этих деталей представляют собой бронзовые подшипники скольжения в виде втулок.

Бронзовые подшипниковые втулки нашли широкое применение в сельскохозяйственных, транспортных и технологических машинах. Они способны воспринимать значительные знакопеременные нагрузки, выдерживать высокие скоростные и температурные режимы, работать в условиях недостаточной смазки, в присутствии абразива, воды и других агрессивных сред, благодаря низкому коэффициенту трения, хорошей сопротивляемости износу и коррозии, высоким механическим и технологическим свойствам [1, 2]. Указанные преимущества позволяют использовать бронзовые подшипниковые втулки в двигателях (втулка верхней головки шатуна, втулка турбокомпрессора), в тяжело нагруженных узлах трения — это втулки опорных и поддерживающих катков, подъемных стрел, поворотной платформы экскаватора, втулки балансиров, опорных кареток и натяжных колес тракторов.

Например, только в одном экскаваторе ЭО-5111 в опорных роликах гусеничной тележки используется 24 бронзовых втулок, в поддерживающих роликах — 6 втулок и в ведущих и направляющихся колесах — 10 шт. В большинстве случаев бронзовые подшипниковые втулки имеют цилиндрическую форму с гладкими наружными и внутренними поверхностями. Иногда конструктивное исполнение предусматривает маслосъемную канавку на внутренней поверхности. При эксплуатации транспортных и технологических машин природообустройства происходит износ внутренней рабочей поверхности бронзовых втулок, пределы которых рекомендуют подразделять на 3 категории, исходя из их величины и диаметра:

- 1 — втулки, работоспособность которых прекращается при износе до 0,1 мм;
- 2 — втулки, теряющие работоспособность при износе до 2,0 мм;
- 3 — втулки с износом более 2,0 мм.

Диаметр втулок колеблется от 20 до 250 мм, масса от 0,070 до 8 кг.

На сегодняшний момент в промышленности используется большое количество различных марок бронзы. Наиболее распространенная среди них оловянистая бронза (БрОЦС5-5-5, БрОЦС6-6-3, БрОЦС4-4-2), алюмино-железистая бронза (БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5), свинцовистая бронза (БрС-30).

Все указанные марки бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью, прочностью и хорошей теплопроводностью. Анализ номенклатуры деталей бронзовых подшипниковых втулок, используемых в тяжело нагруженных узлах сельскохозяйственных, транспортных и технологических машин природообустройства показал, что наиболее

часто применяются оловянистая и алюминиевая бронза (БрОЦС5-5-5, БрАЖ9-4).

Сегодня самым распространенным способом при восстановлении работоспособности агрегата или сборочной единицы, у которых вышла из строя бронзовая подшипниковая втулка, является замена изношенной втулки новой, изготовленной из заготовки аналогичной марки бронзы. Однако высокая стоимость изготовления новой втулки при ее изготовлении делает этот способ крайне неэкономичным. За последние 15...20 лет в ремонтном производстве накопился определенный опыт восстановления изношенных бронзовых деталей, такие как осадка, обкатка, заливка, а также бронзовые втулки восстанавливают и термодиффузионными способами, наплавкой и напеканием. Выбор рационального способа восстановления зависит и от конструктивно-технологических особенностей рабочей поверхности деталей; формы и размера, состава бронзы и вида термообработки, поверхностной твердости и шероховатости, плотности и пористости, от условий работы и вида трения, величины износа и, что немаловажно, от стоимости восстановления. Для учета всех этих факторов обычно рекомендуется последовательно пользоваться тремя критериями:

- технологическим критерием или критерием применимости;
- критерием долговечности;
- технико-экономическим критерием (отношением стоимости восстановления к коэффициенту долговечности) [2].

В практике ремонтного производства существуют большое количество способов восстановления бронзовых подшипников скольжения [3–5]. На рис. 1 указаны способы, которые имеют наиболее широкое применение.

Наиболее простым методом восстановления бронзовых подшипников скольжения является метод пластической деформации. Пластическую деформацию втулок выполняют как в холодном, так и в горячем состоянии. Основными видами пластической деформирования являются осадка и обжатие (рис. 2).

Осадка применяется для уменьшения внутреннего и увеличения наружного диаметра втулки за счет уменьшения ее длины. Для осадки втулок применяют гидравлические прессы с усилием в 20...40 МПа.

Величину давления при осадке определяют по формуле

$$P = \sigma_T (1 + d / 6l),$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести материала детали, МПа;  $d$  — наружный диаметр втулки после осадки, мм;  $l$  — длина втулки, мм.



Рис. 1. Основные способы восстановления бронзовых подшипников скольжения

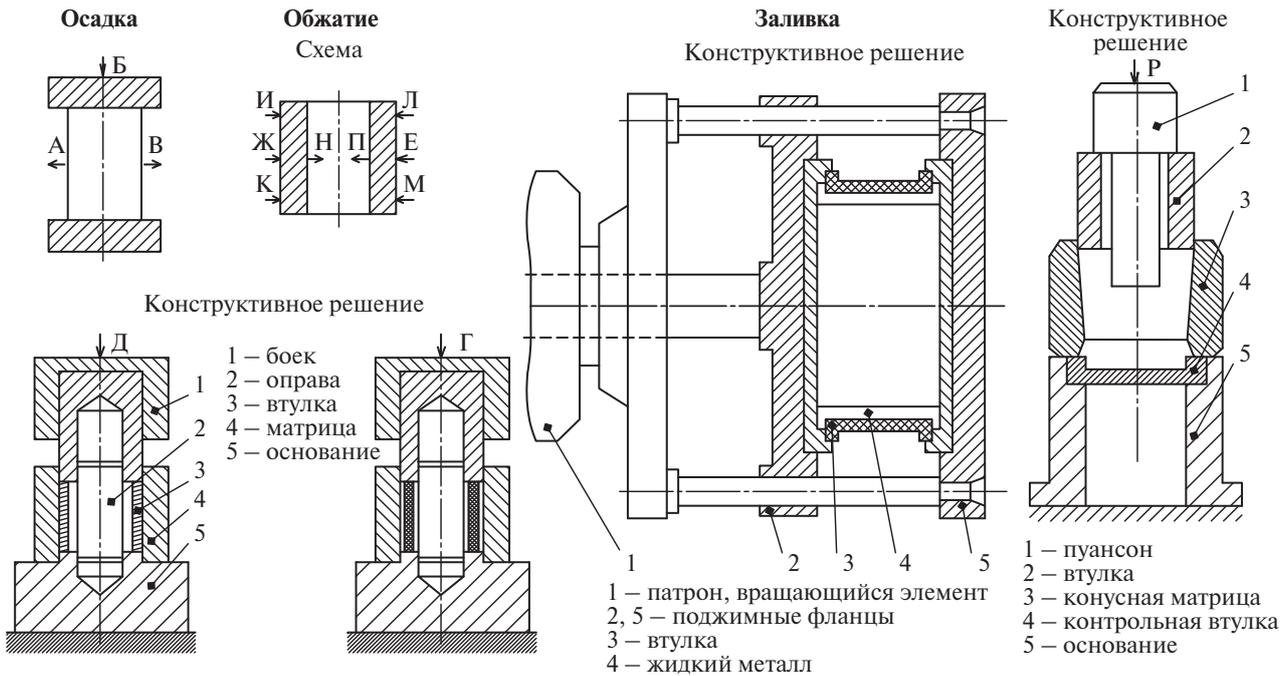


Рис. 2. Некоторые способы восстановления бронзовых втулок пластическим деформированием

Результатом обжатия втулок является уменьшение их наружного и внутреннего диаметра в результате пластической деформации. Технология восстановления этим методом втулок предполагает продавливание втулок через цилиндрические отверстия заданного диаметра  $D_{обж}$ . Следовательно, изменение наружного диаметра составит

$$\Delta_{обж} = D_o - D_{обж}$$

При обжатии в результате пластической деформации происходит некоторое вытягивание втулки в длину и увеличение толщины стенки, потому что после обжатия не должен меняться объем материала, из которого она изготовлена.

Для того чтобы втулку можно было восстановить, внутренний диаметр должен оказаться существенно (на несколько десятых миллиметра, по крайней мере) меньше исходного  $d_{ном}$  по чертежу втулки, чтобы после запрессовки и расточки втулки в составе блока ее внутренний диаметр снова вернулся к исходному значению  $d_o$ .

Технология восстановления втулок обжатием предполагает продавливание втулок через цилиндрические отверстия определенного диаметра деформирующего элемента, называемой матрицей. Среди известных конструкций обжимок матрица является неподвижным элементом. На кафедре «Технология металлов и ремонт машин» института природообустройства имени А.Н. Костякова проводятся исследования по разработке различных технологий восстановления бронзовых подшипников скольжения, поэтому одним из направлений

по этой тематике являются исследования по воздействию пластической деформации с помощью вращающихся матриц при восстановлении бронзовых втулок. Авторы предлагают в качестве обжимного элемента использовать вращающиеся матрицы, общий вид установки с вращающимися матрицами представлен на рис. 3, а на рис. 4 показана принципиальная схема обжатия втулок.

Принцип работы установки вертикальной роликовой матрицы для обкатки при восстановлении изношенных оловянистых и алюмини-железистых бронзовых втулок скольжения представляет собой следующее: нижняя 4 и верхняя 2 стальные роликовые матрицы устанавливаются на вертикаль-

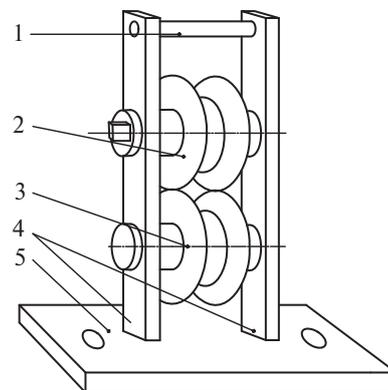


Рис. 3. Общий вид установки с вращающимися матрицами для обжима втулок:

- 1 — крепежная планка; 2 — верхняя стальная роликовая матрица; 3 — нижняя стальная роликовая матрица; 4 — вертикальные стойки; 5 — стальная платформа

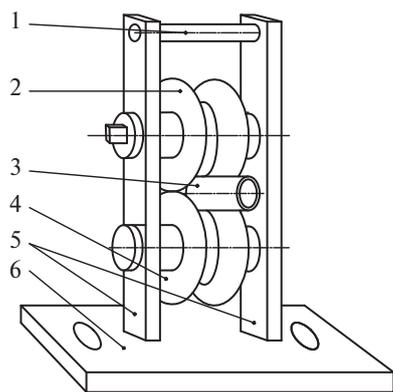


Рис. 4. Принципиальная схема обжима втулок

ные стойки 5, верхняя часть вертикальных стоек укрепляется крепежной планкой 1, нижняя опорная часть стоек жестко закрепляется на стальную платформу 6, геометрические параметры отверстия, образующиеся между роликами, соответствуют наружному или внутреннему диаметру восстанавливаемой втулки 4, для восстановления внутреннего диаметра необходимо при изготовлении роликовых матриц учитывать толщину стенки втулки на сторону, восстанавливаемая втулка проталкивается в отверстие между роликами, возникающая окружная сила создает условие, позволяющее проводить процесс пластической деформации для обкатки и обжатия наружной поверхности втулки до заданных геометрических параметров. Данный метод отличается простотой и доступностью в использовании, однако он не всегда применим, а сочетание других методов при восстановлении бронзовых подшипников скольжения просто необходимо, исходя из этого проводятся разработки, испытания и других приспособлений из числа тех, когда матрица неподвижна. Например, для сопряжений, воспринимающих значительные удельные нагрузки, уменьшение длины втулок допускается не более чем на 5...8%, для менее нагруженных втулок — на 10...15% от их первоначальной длины. С уменьшением длины осаживаемой втулки за счет уменьшения площади ее поверхности резко увеличивается давление вала на втулку, что вызывает повышенный износ и сокращение ресурса втулки. Поэтому данным способом рекомендуется восстанавливать бронзовые втулки с внутренним диаметром до 60 мм и величиной износа до 0,2 мм. Процесс обжатия втулки предусматривает уменьшение их наружного и внутреннего диаметра в результате пластической деформации. Наиболее часто встречающаяся рекомендация в литературе — это обжатие с помощью конусной матрицы [3]. Однако конкретных исследований по предлагаемой схеме обжатия бронзовых втулок не встречается. С целью разработки различных технологий восстановления бронзовых подшипников скольжения проводятся

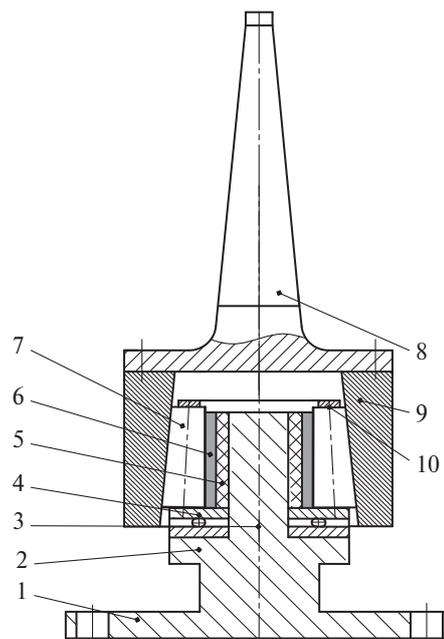


Рис. 5. Многороликовая обкатка ролик, бронзовых подшипников скольжения:

- 1 — нижняя платформа опоры-матрицы;
- 2 — верхняя платформа опоры-матрицы;
- 3 — ствол опоры-матрицы; 4 — упорный подшипник;
- 5 — гидропласт; 6 — втулка для обжима;
- 7 — деформирующий; 8 — нажимной конус;
- 9 — коническая оправка; 10 — сепаратор

исследования по воздействию пластической деформации с помощью роликовых инструментов, один из вариантов конструкции представлен на рис. 5. В ней предусмотрены конические деформирующие ролики 7, количество которых зависит от наружного диаметра деформируемой поверхности бронзовой втулки 6. Но особенностью данной конструкции является одновременная деформация наружной поверхности втулки по всей ее длине за счет сочетания конических деформирующих роликов 7 и нажимного конического конуса 8, при перемещении которого по образующей роликов создаются радиальные осевые силы, вызывающие пластическую деформацию металла наружной поверхности втулки.

Вращение деформирующих роликов вокруг наружной поверхности втулки и плавное нагружение радиальной силой этой поверхности за счет различной скорости перемещения нажимного конического конуса создает условие, позволяющее проводить процесс обжима наружной поверхности втулки на различную величину. Таким образом, проводятся исследования по изучению режимов обжатия бронзовых втулок по данным технологиям, изучаются их физико-механические свойства после обкатывания и обжатия, что позволит разработать технологический процесс восстановления бронзовых подшипников скольжения различными методами.

## Список литературы

1. Бурмаков Ф.Х., Лезин П.П. Работоспособность и долговечность восстановленных деталей и сборочных единиц машин. — Саранск: Изд-во Мордовского университета, 1993. — 120 с.
2. Пучин Е.А., Дидманидзе О.Н. Технология ремонта машин. — Ч. 1. — М.: УМЦ «Триада», 2006. — 346 с.
3. Аверкин Ю.А. Исследования обжима полых цилиндрических заготовок // Инженерные методы расчета

процессов обработки металлов давлением: сб. науч. трудов. — М.: Машгиз, 1957. — С. 167–190.

4. Основы технологии изготовления деталей транспортных и технологических машин: учеб. пособие для вузов / С.К. Тойгамбаев, А.П. Шнырёв, Г.А. Сергеев [и др.]. — М.: МГУП, 2008. — 238 с.

5. Тойгамбаев С.К., Шнырёв А.П., Мынжасаров Р.И. Надежность технологических машин: учеб. пособие для вузов. — М.: МГУП, 2008. — 224 с.

УДК 631.3.004.67–192

Ю.Г. Вергазова

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ–ВТУЛКА»

Неподвижные соединения достаточно часто встречаются в сборочных единицах и агрегатах сельскохозяйственной техники. Это — соединения зубчатых колес, звездочек, шкивов с валами, направляющих втулок с корпусами, опор подшипников скольжения с втулками и пр.

В настоящее время более 355 видов мобильных уборочных и других сельскохозяйственных машин оснащены цепными передачами и редукторами [1]. Наибольшее распространение в звездочках цепных передач получили соединения типа «вал–втулка звездочки», а в редукторах — «вал–втулка шестерни». Относительную неподвижность поверхностей обеспечивают шпонки.

Специальные стендовые испытания для данного вида соединений не проводились. В течение трех лет исследовали 10 соединений  $\varnothing 30$  мм и  $\varnothing 40$  мм с серийными посадками и 6 соединений с расчетными (предлагаемыми) посадками. В качестве объекта исследований выступали унифицированные редукторы завода МОССЕЛЬМАШ, установленные на картофелеуборочных комбайнах КПК-3.

При построении динамики изнашивания соединений с натягом учитывали полученные данные об уменьшении натяга в зависимости от числа запрессовок–распрессовок.

В результате обработки информации получены следующие эмпирические зависимости интенсивности изнашивания и среднеквадратического отклонения, мкм, от времени работы  $t$ , ч.

Для серийного соединения  $\varnothing 30^{+0,17/-0,05}$ :  
функция изнашивания

$$\bar{U}(t) = 106,5 + 0,12t, \rho = 0,98; \quad (1)$$

изменение среднеквадратического отклонения во времени

$$\sigma_u(t) = 12,69 + 0,018t, \rho = 0,96. \quad (2)$$

Для предлагаемого соединения  $\varnothing 30H6/v6$ :  
функция изнашивания

$$\bar{U}(t) = -41,2 + 9,58 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,96; \quad (3)$$

изменение среднеквадратического отклонения во времени

$$\sigma_u(t) = 0,826 + 2,19 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,99. \quad (4)$$

Для серийного соединения  $\varnothing 40^{+0,025/+0,018/-0,002}$ :

функция изнашивания

$$\bar{U}(t) = 18,3 + 42,9 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,99; \quad (5)$$

изменение среднеквадратического отклонения во времени

$$\sigma_u(t) = 0,819 + 11,1 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,99. \quad (6)$$

Для предлагаемого соединения  $\varnothing 40H9/x8$ :

функция изнашивания

$$\bar{U}(t) = -57,6 + 14,2 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,98; \quad (7)$$

изменение среднеквадратического отклонения во времени

$$\sigma_u(t) = 0,272 + 4,47 \cdot 10^{-3}t, \rho = 0,99. \quad (8)$$

Из анализа зависимостей (1)–(4) видно, что интенсивность изнашивания испытываемого соединения  $\varnothing 30H6/v6$  в 12 раз меньше интенсивности изнашивания серийного  $\varnothing 30^{+0,17/-0,05}$  и это достигнуто только путем точностного расчета. Серийное соединение имеет такие отклонения, при которых появляется аварийный износ, причем — на последней стадии, когда парабола легко аппроксимируется прямой.

Из анализа зависимостей (5)–(8) видно, что интенсивность изнашивания испытываемого соединения  $\varnothing 40H9/x8$  в 3 раза меньше интенсивности изнашивания серийного  $\varnothing 40H7/k6$  и это достигнуто путем применения новой методики расчета на-