

Особенности восстановления цепных передач

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, 440026, РФ

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2024-0-6-18-25

Поступила в редакцию 24.11.2023

После доработки 15.01.2024

Принята к публикации 27.02.2024

В статье рассмотрены различные технологические способы ремонта деталей цепных передач. Приведены различные конструкции цепных передач и способы их восстановления.

Ключевые слова: технологические способы ремонта, цепные передачи, различные конструкции цепных передач, различные способы восстановления.

Various technological methods of repairing the parts of chain gears are considered. Various designs of chain gears and various ways of their restoration are given.

Keywords: technological method, repair, chain gear, various design, recovery.

Введение

Цепные передачи используют для передачи вращательного движения между удаленными друг от друга валами. Цепная передача представляет замкнутую металлическую шарнирную цепь, которая охватывает две установленные на валах зубчатые звездочки — ведущую и ведомую (рис. 1). Передаточное число цепной передачи определяется отношением числа зубьев ведущей и ведомой звездочек $i_{1-2} = z_2/z_1$. Цепные передачи передают различные мощности: от незначительных (велосипедные цепи)

до имеющих большие значения (многорядные цепи повышенной прочности).

Цепные передачи обладают рядом преимуществ [1]: отсутствие проскальзывания цепи; компактность (ширина цепной передачи значительно меньше ширины ременной); меньшая нагрузка на валы и подшипниковые опоры, так как не требуется большого предварительного натяжения цепи; высокий КПД, достигающий 0,98. Имеются и недостатки, ограничивающие применение этих передач: удлинение цепи в процессе эксплуатации, причиной которого является неравномерность хода передачи; возникновение динамических нагрузок, обусловленных ускорениями в элементах цепи, которые возрастают с увеличением скорости цепи и уменьшением числа зубьев на звездочке меньшего диаметра; значительный уровень шума при работе; сложность эксплуатации [1–2].

Материалы и методы

Цепные передачи рационально применять тогда, когда невозмож-

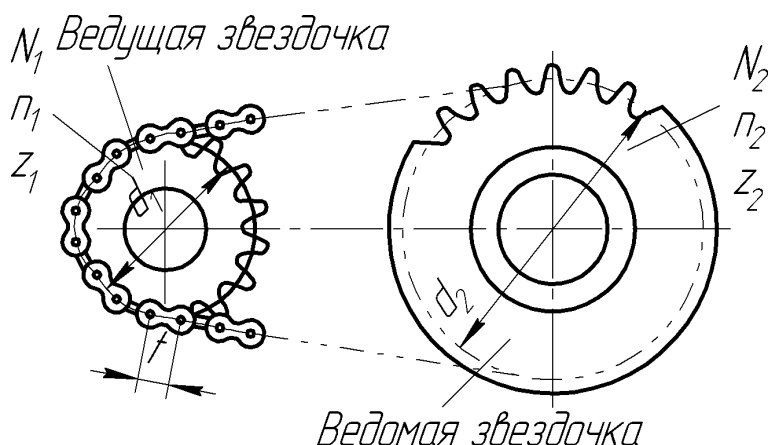


Рис. 1. Цепная передача

но использовать зубчатые передачи — из-за больших межцентровых расстояний — и ременные передачи — из-за требований обеспечения постоянства передаточного отношения. Наиболее распространено применение цепных передач с передаточным числом $i = 15$ для передачи мощностей до 100 кВт при окружных скоростях до 30 м/с.

Цепи этих передач являются приводными. В зависимости от конструкции цепи подразделяют на роликовые, втулочные, зубчатые и фасоннозвенные. К основным параметрам цепи относятся: шаг t — расстояние между осями двух ближайших шарниров; ширина цепи; разгружающая нагрузка (устанавливается экспериментально). На машинах в основном применяют цепные передачи с шагом 19,05 и 25,4 мм, реже — с шагом 38,0 и 38,1 мм.

Втулочная цепь (рис. 2, а) может быть одно- и двухрядной (тип ПВ), что определяется передаваемой нагрузкой. Эти цепи просты по конструкции, имеют незначительную массу и стоимость изготовления. Цепь состоит из внутренних пластин 3, которые напрессованы на втулку 2, свободно вращающуюся на валике 1 с напрессованными наружными пластинами 4. Из-за недостаточной износостойчивости эти цепи имеют ограниченное применение — при окружных скоростях до 10 м/с [2–8].

В зависимости от передаваемых мощностей и условий эксплуатации изготавливают следу-

ющие виды роликовых цепей: однорядную (тип ПРЛ, ПР) — нормальную, длиннозвенную облегченную, усиленную; двухрядную (тип ПР); многорядную (трех- и четырехрядную); с изогнутыми пластинами. Роликовая цепь конструктивно отличается от втулочной тем, что на втулках 2 смонтированы свободновращающиеся ролики 5, тем самым трение скольжения заменено трением качения.

Зубчатые цепи (см. рис. 2, в) имеют лучшие условия зацепления с зубьями звездочек. Поэтому они работают с меньшим шумом, чем втулочные и роликовые. Их применяют в основном для передачи значительных мощностей. Недостатком зубчатых цепей по сравнению с роликовыми являются большая масса и высокая стоимость изготовления. Это ограничивает область их применения.

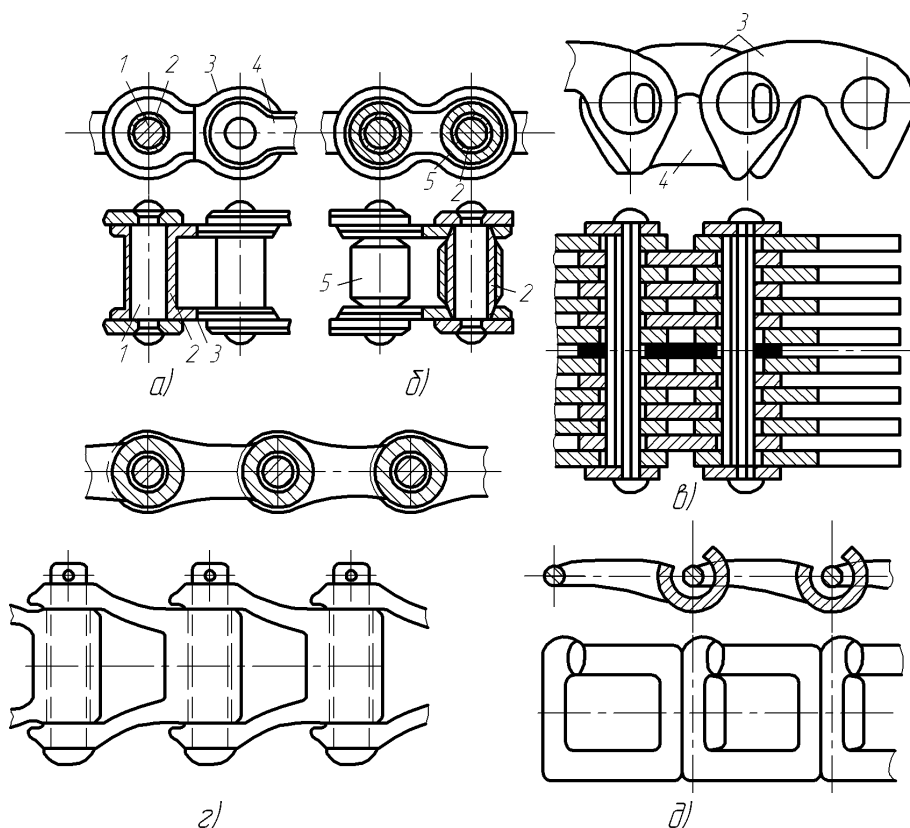


Рис. 2. Цепи передач:

а — втулочная; б — роликовая; в — зубчатая; з, д — штыревая и крючковая фасоннозвенные; 1 — валик; 2 — втулки; 3 — внутренние пластины; 4 — наружные пластины; 5 — ролики

Звенья зубчатой цепи состоят из набора пластин 3 и 4, каждая из которых имеет два выступа и впадину между ними, куда заходит зуб звездочки. Число пластин определяется шириной цепи. В шарнирах последней обеспечивается трение качения.

Фасоннозвенные цепи — штыревые (см. рис. 2, *з*) и крючковые (см. рис. 2, *д*) — просты по конструкции. Их используют для передачи незначительных мощностей при малых (3—4 м/с) окружных скоростях, в основном в условиях недостаточной защиты от загрязнения и смазывания.

Крючковая фасонная цепь собрана из звеньев, отлитых из чугуна или штампованных из стальной полосы (сталь 30Г), и не имеет дополнительных деталей. Соединение звеньев производится при

их взаимном наклоне под углом 60° . В штыревых фасонных цепях соединение чугунных литых звеньев выполняют посредством стальных (Ст3) штырей. После установки штыри шплинтуют.

Фасоннозвенные цепи просты по конструкции, их легко ремонтировать.

Цепная передача нормально и длительно работает, если оси звездочек параллельны друг другу и обе звездочки расположены в одной плоскости.

В результате эксплуатации детали цепной передачи изнашиваются. Из-за изнашивания шарниров и растяжения пластин цепь вытягивается, поэтому требуется периодически регулировать силу ее натяжения. Натяжение может быть выполнено изменением межцентрового расстояния, смещением одной из звездочек

передачи, а также при использовании специальных натяжных звездочек или роликов.

Характерным признаком износа цепных передач являются смятие и поломка зубьев звездочек, ослабление посадки звездочек на валах, износ в сопряжении втулки 2 и валика 1 (см. рис. 2), ослабление посадки пластины 3 на втулке 2, износ ролика 5 по наружному диаметру. Цепь в результате изнашивания деталей передачи растягивается, в передаче появляются резкий шум и стук. В этих условиях цепь во время работы часто соскакивает со звездочек, происходят обрыв пластин и излом валиков.

Звездочки цепных передач (рис. 3) в зависи-

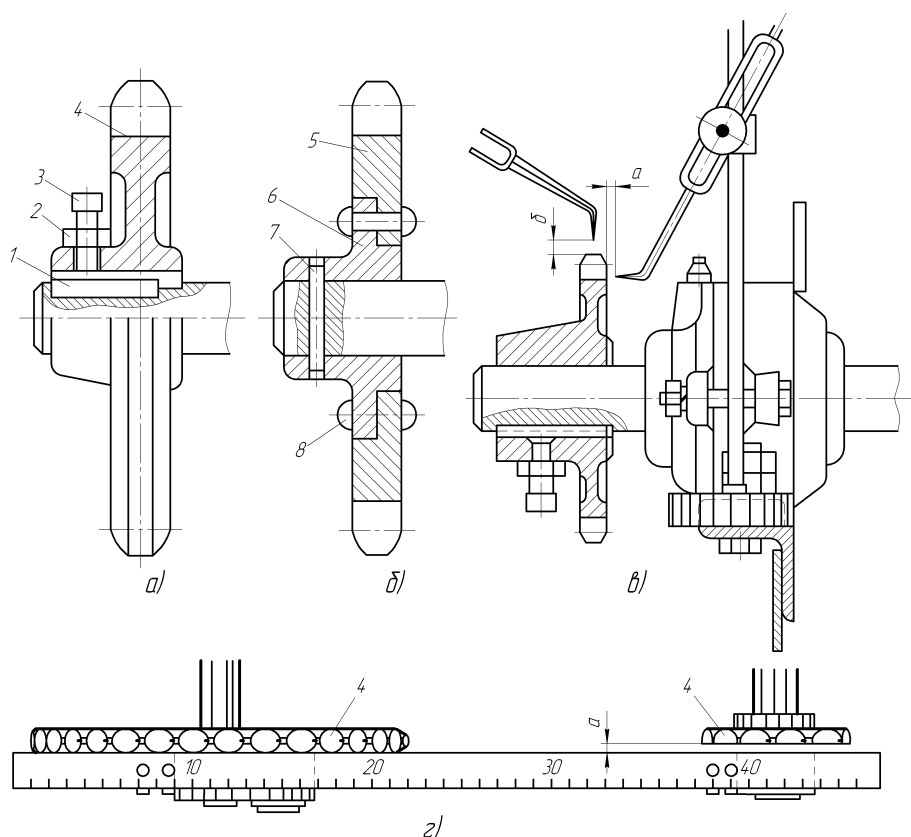


Рис. 3. Звездочки цепных передач и их монтаж на вал:

а — цепная звездочка, установленная со шпонкой; *б* — звездочка сборной конструкции; *в* — схема контроля осевого и радиального биения звездочек; *г* — схема проверки совпадения плоскостей звездочек; 1 — шпонка; 2 — гайка; 3 — винт; 4 — зуб звездочки; 5 — корпус звездочки; 6 — втулка; 7 — штифт; 8 — заклепка; *а*, *б* — расстояния от сварочного электрода при ремонте зубьев звездочки

мости от служебного назначения последних и их размеров изготавливают составными и цельными. Звездочки втулочных и роликовых цепей имеют небольшую ширину, их выполняют обычно из двух частей — ступицы и диска с зубьями. Эти части в зависимости от их материала соединяют заклепками, болтами либо сваркой. Звездочки зубчатых передач и передач фасоннозвенными цепями имеют большую ширину. Эти звездочки, как правило, изготавливают цельными [9, 10].

В ряде случаев для уменьшения изнашивания деталей цепи и шума при работе передач зубчатый венец звездочки изготавливают из пластмассы. Последний соединяют с металлической ступицей посредством паза типа «ласточкин хвост», который имеет несколько поперечных углублений для установки венца.

Ремонт цепных передач обычно выполняют заменой дефектных звездочек или цепей новыми.

Изношенную цепь ремонтируют только в случае ее аварийного обрыва. В зависимости от степени повреждения в разорванную цепь устанавливают одно или несколько новых звеньев. Последние можно взять из другой цепи аналогичной конструкции с одинаковым шагом. При отсутствии такой возможности изготавливают несколько новых пластин, звеньев, втулок.

Звездочки подлежат восстановлению, если износ зубьев по толщине достигает 0,8—1,5 мм в зависимости от шага. Коэффициент восстановления находится в пределах 0,2—0,9. В звездочках, наряду с износом зубьев по толщине и ширине, изнашиваются также поверхности отверстий ступиц, шпоночные пазы и резьбовые отверстия под стопорный болт.

При ремонте изношенные звездочки чаще всего заменяют на новые. В некоторых случаях звездочки диаметром свыше 120 мм ремонтируют наплавкой с последующей обработкой фрезерованием или изготавлива-

ют новый зубчатый венец и приваривают его к обрезанной ступице изношенной звездочки. Однако указанные способы ремонта в большинстве случаев экономически невыгодны.

Восстанавливать звездочки с шагом 19,05 и 25,4 мм можно в горячем состоянии посредством пластического деформирования. Способ заключается в использовании запаса металла диска звездочки для компенсации износа зубчатого венца — в перераспределении металла в нагретом состоянии штамповкой с последующим горячим накатыванием до номинальных размеров.

Ступицу и шпоночный паз восстанавливают обжатием. Для восстановления звездочек этим способом нужно обеспечить выполнение ряда требований:

- 1) металла диска должно быть достаточно для компенсации износа;
- 2) при пластическом деформировании не должно быть нарушено деление зубьев зубчатого венца;
- 3) толщину венца следует уменьшить настолько, чтобы обеспечить свободный вход детали между ребрами накатного инструмента с учетом торцового биения и температурного расширения при нагревании металла.

Учитывая эти требования, рассчитывают размеры штампа для формирования заготовок. Для штампа должно быть обеспечено постоянство объема перераспределяемого металла в расчете на один зуб:

$$V = [\pi(r_1^2 - r_2^2)]hb/z_3, \quad (1)$$

где V — объем перераспределяемого металла в расчете на один зуб; z_3 — число зубьев звездочки; r_1 и r_2 — радиусы выступа штампа соответственно наружной и внутренней кромок; h — коэффициент, учитывающий форму канавки (для прямоугольной канавки $h = 2$, для треугольной — $h = 1$); b — глубина канавки. Изношенные звездочки в целях получения заготовок для последующего нака-

тивания зубчатого венца штампуют в открытых штампах на ковочном молоте с ограничением диаметра матрицы по диаметральному размеру выступов звездочки (рис. 4). Штамповку осуществляют на технологическом пальце, смонтированном в отверстии ступицы. Изношенные звездочки перед штамповкой нагревают до температуры 950—1000 °С в электропечи. После штамповки венца ступицу звездочки с технологическим пальцем обжимают в штампе на гидравлическом прессе. Затем палец выпрессовывают. Звездочки охлаждают на воздухе до температуры 20 °С.

Остывшие звездочки очищают от окалины в галтовочном барабане. Далее, на протяжном станке протягивают отверстие ступицы и шпоночный паз до номинальных размеров. Потом звездочки устанавливают

на вал суппорта накатной установки, нагревают венец токами высокой частоты до температуры $(1200 \pm 50)^\circ\text{C}$ и выполняют накатывание зубьев номинальных размеров. Накатывание осуществляют таким же инструментом, как и при изготовлении звездочек промышленным способом. Затем зубчатый венец закаливают, при необходимости рассверливают отверстие и нарезают резьбу под стопорный болт. Готовые звездочки подвергают мойке и выполняют их контроль.

По всем параметрам восстановленные звездочки должны соответствовать новым. Износостойкость восстановленных накаткой зубьев звездочек в 1,4—1,6 раза выше по сравнению с наплавленными и фрезерованными зубьями. Указанная технология восстановления звездочек требует соответствующего оснащения ремонтной базы.

При ремонте новые звездочки изготавливают обычно из сталей 45 и 50, а также из цементируемых сталей 15, 20 и 20Х с последующей закалкой.

После ремонта или замены деталей осуществляют сборку цепной передачи. После сборки цепная передача должна отвечать следующим техническим требованиям: оси валов должны быть взаимно параллельными (допускаемое отклонение не более 0,1 мм на каждые 1000 мм межцентрового расстояния); звездочки должны располагаться в одной плоскости (допускаются отклонения в зависимости от типа цепи и расстояния между осями); пластины должны быть параллельны между собой; сила натяжения цепи должна обеспечивать нормальную работу передачи; шаг цепи t должен соответствовать шагу звездочек, в противном случае может произойти поломка зубьев звездочки или обрыв цепи; передача должна работать плавно, без рывков [11, 12].

Допускаемые отклонения межцентрового расстояния в цепных передачах в зависимости от расстояния между осями (до 500, 500—1000, свыше 1000 мм) приведены ниже в таблице.



Рис. 4. Схема технологического процесса восстановления звездочек цепных передач (шаг 19,05 и 25,4 мм)

Допускаемые отклонения
межцентрового расстояния, мм

Межцентровые расстояния	До 500 мм	500— 1000 мм	Свыше 1000 мм
Втулочно-роликовая цепь	1	1,5	2
Фасоннозвенная цепь	2	2,5	3

Звездочки монтируют на вал с применением посадок с натягом. От проворота на валу звездочки фиксируют посредством шпонок и штифтованием ступицы звездочки. Звездочку 4 при ее монтаже на вал с призматической шпонкой 1 (см. рис. 3, а) напрессовывают посредством оправки и молотка. Шейку вала смазывают маслом. От возможного перемещения в осевом направлении звездочку фиксируют стопорным винтом 3 с контргайкой 2. Для обеспечения совпадения плоскости звездочки с плоскостью, в которой происходит движение цепи, нужно отпустить контргайку 2 и стопор 3, а затем легкими ударами молотка через выколотку установить звездочку в заданной плоскости.

При установке звездочек сборной конструкции (см. рис. 3, б) вначале на валу закрепляют штифтом 7 ступицу 6. Отверстие под штифт выполняют следующим образом. Вначале сверлят отверстие с одной стороны ступицы. Затем ступицу монтируют на вал в заданном положении и одновременно сверлят отверстие в валу и во второй половине ступицы. Далее, вручную (дрелью или на сверлильном станке) конической разверткой развертывают одновременно отверстие в ступице и в валу. После этого устанавливают штифт. Зубчатый венец 5 крепят к ступице заклепками 8 или болтами. Отверстие под заклепки и болты сверлят по кондуктору. Использование болтов дает возможность регулирования положения зубчатого венца в осевой плоскости посредством установки прокладок между диском и ступицей. Смонтированные на валу звездочки проверяют на осевое и радиальное биение посредством щупа или инди-

каторов (см. рис. 3, в). Правильность зацепления звеньев цепи с зубьями звездочек определяется взаимным расположением осей валов передачи, а также звездочек. Совпадение плоскостей вращения звездочек проверяют с помощью шнура, а при небольших межцентровых расстояниях (до 1000 мм) — с помощью линейки (см. рис. 3, г). Прикладывая ребро линейки к торцам звездочек, щупом проверяют зазор между ними. При этом звездочку поворачивают для определения зазора при различных ее положениях. Отклонение от совпадения плоскостей звездочек не должно превышать 2 мм длины межцентрового расстояния. Положение звездочек на валах можно также контролировать, измеряя межосевые расстояния в различных точках между валами передачи.

При монтаже с цепи удаляют консервирующую смазку, промывают в керосине и просушивают сжатым воздухом. Затем цепь подгоняют по длине в соответствии с чертежом передачи. Перед подгонкой освобождают от шплинтов или запирающей пластины замыкающее звено цепи и снимают его, отсоединяя лишние звенья. Затем осуществляют монтаж цепи посредством соединительного (замыкающего) звена, имеющего два валика (перед укорачиванием оно было снято). Этим звеном можно соединять цепи, которые имеют только четное число звеньев. Для монтажа цепей с нечетным числом звеньев используют переходное звено. Концы цепи соединяют на верстаке или непосредственно на сборочной единице. Последний способ применяют, когда цепь с соединенными концами нельзя надеть на звездочку (например, когда звездочка расположена внутри корпусной детали). Для соединения концов втулочных и роликовых цепей непосредственно на собираемом узле используют рычажные (рис. 5, а) или винтовые (см. рис. 5, б) стяжки. Пластинчато-зубчатые цепи также надевают сначала на звездочку.

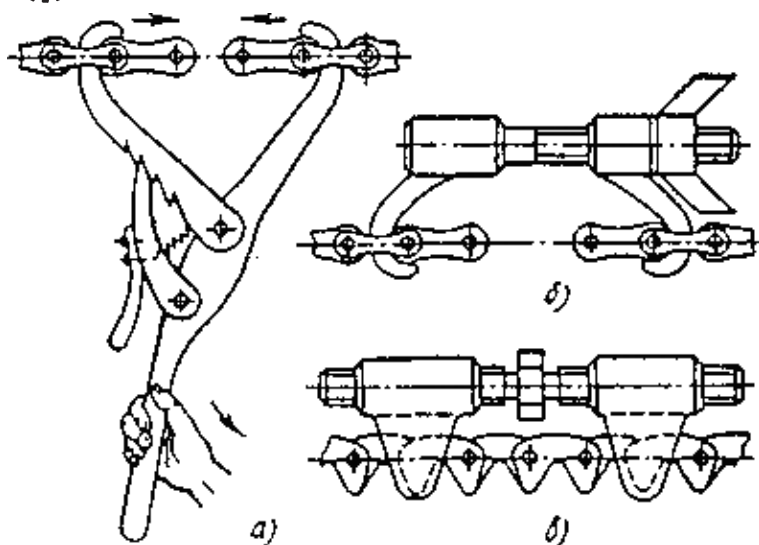


Рис. 5. Стяжки для соединения концов цепи:

а — рычажная; б — винтовая для втулочной и роликовой цепей; в — винтовая для зубчатой цепи

Затем концы цепи стягивают посредством специальных стяжек (см. рис. 5, в) и соединяют. Фасоннозвенные цепи собирают последовательным соединением звеньев без применения специальных устройств крепления. При сборке необходимо следить за тем, чтобы крючки были направлены в сторону движения цепи.

В передаче цепь должна быть смонтирована так, чтобы ее нижняя ведущая ветвь не была сильно натянута. Цепь, имеющая небольшую величину провисания, при работе передачи правильно ложится на зубья звездочки. Это ослабляет удары между зубьями звездочки и звеньями цепи, обеспечивает плавную работу передачи и значительно уменьшает ее изнашивание. Правильное натяжение цепи уменьшает нагрузки на детали передачи. Провисание цепи зависит от ее расположения и расстояния между осями валов со звездочками. Для цепных передач со звездочками, которые расположены в горизонтальной плоскости, провисание цепи не должно превышать 0,02 значения межцентрового расстояния, а для передач со звездочками, имеющими оси, расположенные в вертикальной плоскости, — 0,002 значения того же расстояния.

Плавность и легкость хода проверяют, вращая звездочки вручную или с помощью рычага. При вращении цепь не должна соскальзывать, а каждое ее звено должно легко одеваться на зуб звездочки и легко сходиться с него. После испытания передачи отпечатки от трения роликов или втулок о зубья звездочки должны быть одинаковыми на всех зубьях и занимать приблизительно $1/3$ зуба по высоте.

Для предупреждения изнашивания деталей и передачи в целом нужно ее смазывать. Для силовых ответственных цепных передач, которые работают с окружными скоростями до 8 м/с, используют картерный метод смазывания погружением в масляную ванну. Для передач, работающих с окружными скоростями более 8 м/с, применяют метод циркуляционного принудительного смазывания с помощью масляного насоса. Если герметичность картера недостаточна, а окружные скорости работы передачи не превышают 8 м/с, то используют способ внутришарнирного смазывания консистентной смазкой; смазку производят периодически через 120—180 ч работы передачи. При работе передачи с перерывами с окружной скоростью, не превышающей 4 м/с, применяют периодическое (через 5—8 ч работы) смазывание ручными масленками.

Обсуждение результатов

Приведенные варианты восстановления отдельных деталей цепных передач позволяют технически слабо оснащенным ремонтным базам выполнять их высококачественный ремонт.

Финансирование работы

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный

университет» (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схиртладзе А.Г. Технологические процессы в машиностроении. М.: Высшая школа. 2007. 927 с.
2. Мухин А.В., Спиридонов О.В., Схиртладзе А.Г. и др. Производство деталей металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 2003. 560 с.
3. Богодухов С.И., Бондаренко Е.В., Схиртладзе А.Г. и др. Технологические процессы в машиностроении. М.: Машиностроение. 2009. 640 с.
4. Схиртладзе А.Г., Григорьев С.Н., Скрыбин В.А. и др. Технологические основы ремонта и восстановления производственных машин и оборудования. Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ. 2012. 492 с.
5. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. Ремонт технологических машин и оборудования. Старый Оскол: ООО «ТНТ». 2010. 432 с.
6. Гельберг Б.Т., Пекелис Г.Д. Ремонт промышленного оборудования. М.: Высшая школа. 1988. 304 с.
7. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления станков технологического оборудования // Ремонт. Восстановление. Модернизация. № 4. 2002. С. 6—10.
8. Пекелис Г.Д., Гельберг Б.Т. Технология ремонта металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 1976. 320 с.
9. Схиртладзе А.Г. Ремонт гидравлических приводов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. № 1. 2004. С. 10—14.
10. Схиртладзе А.Г. Технология ремонта шпинделей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. № 4. 2002. С. 8—13.
11. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления корпусных деталей // Технология металлов. № 12. 2001. С. 10—15.
12. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Технология ремонта деталей резьбовых соединений // Журнал «Техника машиностроения». 2014. № 4 (92). С. 23—34.

РУКОВОДСТВО АВТОРУ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ*

Автор (или коллектив авторов) осознает, что несет первоначальную ответственность за новизну и достоверность результатов научного исследования, что предполагает соблюдение следующих принципов:

- Авторы статьи должны предоставлять достоверные результаты проведенных исследований. Заведомо ошибочные или сфальсифицированные утверждения неприемлемы.
- Авторы должны гарантировать, что результаты исследования, изложенные в предоставленной рукописи, полностью оригинальны. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы.
- Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования, в частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования.
- Авторы не должны предоставлять в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.
- Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании.
- Если автор обнаружит существенные ошибки или неточности в статье на этапе ее рассмотрения или после ее опубликования, он должен как можно скорее уведомить об этом редакцию журнала.

* Из Кодекса этики научных публикаций