

качения. Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 572с. **11.** *Веников А.В.* Теория подобия и моделирования. – М.: Высш. шк., 1976. – 470с. **12.** Подшипники качения: Справочник-каталог / Под ред. *В.Н. Нарышкина* и *Р.В. Коротаевского*. – М.: Машиностроение, 1984. – 277с. **13.** Подшипниковые узлы современных машин и приборов: Энциклопедический справочник / Под общ. ред. *В.Б. Носова*. – М.: Машиностроение, 1997. – 640с. **14.** *Колесников Ю.В., Морозов Е.М.* Механика контактного разрушения. – М.: Наука, 1989. – 224с. **15.** *Добромыслов Н.Н., Борисов Ю.С., Лукьянов Д.В.* Расчет показателей безотказности и долговечности крупногабаритных подшипников качения по критериям контактной усталости и износа // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1990. – №2. – С.67-72. **16.** *Абдуллаев А.И., Гарибов М.А.* Уточнение расчета ресурса подшипника качения с учетом свойств смазочного материала // Проблемы машиностроения. – 1994. – №3. – С.24-27. **17.** *Народецкий М.З.* Научно-исследовательские работы в области теории расчета подшипников качения // Труды ВНИИП. – 1981. – №2. – С.3-13. **18.** *Черменский О.Н.* Учет качества металла в расчетах контактной долговечности деталей машин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1993. – №3. – С.61-69.

*Надійшла до редколегії 23.04.12*

УДК 621.91.02; УДК 621.83

**А.А. ГРЯЗЕВ**, магистр каф. компьютерных наук ВНУ им. В. Даля, Луганск;  
**И.А. КИРИЧЕНКО**, д.т.н., проф., зав. каф. метрологии ВНУ им. В. Даля;  
**М.А. КАШУРА**, асп. каф. технологии машиностроения и инженерного консалтинга ВНУ им. В. Даля;  
**С.Г. КИРИЧЕНКО**, аспирант каф. технологии машиностроения и инженерного консалтинга ВНУ им. В. Даля;  
**А.В. ВИТРЕНКО**, ассистент каф. организации перевозок на железнодорожном транспорте ВНУ им. В. Даля;  
**В.А. ВИТРЕНКО**, д.т.н., проф., зав. каф. технологии машиностроения и инженерного консалтинга ВНУ им. В. Даля

## ПРИТИРКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Рассматривается притирка цилиндрических зубчатых колес при помощи специальных гиперболюидных притирок с использованием абразивных паст или жидких смесей.

Розглядається притирка циліндричних зубчастих коліс за допомогою спеціальних гіперболіодних притирів з використанням абразивних паст чи рідких сумішей.

It is considered abrading of cylindrical cogwheels by means of special hyperboloid abrasives with use of abrasive pastes or liquid mixes.

Притирка является доводочным процессом, при котором профили зубьев подвергаются искусственному износу посредством специального инструмента – притира с использованием абразивных паст или жидких смесей.

Процесс притирки осуществляется за счет того, что обрабатываемое колесо и притир оси скрещиваются, кроме медленного обкаточного движения имеют дополнительное возвратно-поступательное движение вдоль оси изделия. В качестве притира используют точные чугунные цилиндрические колеса. Число зубьев притира не должно быть кратным или не должно иметь об-

щих множителей с числом зубьев притираемого цилиндрического зубчатого колеса, в противном случае погрешности притира передаются на притираемое цилиндрическое колесо. Припуск на толщину зуба не превышает 0,05мм.

Притирка – простой и дешевый способ отделки закаленных и сырых цилиндрических зубчатых колес, применяемый для ответственных передач с целью уменьшения шума, повышения долговечности и улучшения контакта между зубьями. Процесс притирки длится 5-6 мин и, таким образом, является весьма производительным.

В основу притирки положена винтовая передача, состоящая из зубчатого притира и обрабатываемого колеса.

Из теории резания известно, что все виды режущего инструмента, работающего по методу обкатки можно разделить на две группы: 1) Инструмент с режущей поверхностью, например, абразивный червяк или шлифовальный дисковый круг для шлифования зубьев цилиндрических колес. К этой группе инструментов также относятся притир и хон; 2) Инструмент с режущими кромками, например червячные фрезы, долбяки, обкаточные резцы.

Определение режущей поверхности на притире относится к первой группе и сводится к определению поверхности, сопряженной с поверхностью обрабатываемого зубца цилиндрического колеса. При этом поверхность притира  $\Sigma_1$  и обрабатываемого колеса  $\Sigma_2$  получают инструментальной поверхностью  $P$ , отличной от  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ . Представим, что в то время, когда притир и обрабатываемое цилиндрическое колесо совершают движения обкатки, производящая поверхность  $P$  движется определенным образом по отношению к неподвижной части станка. В подвижных системах, связанных с притиром и обрабатываемым колесом, поверхность  $P$  воспроизводит поверхности  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ . Обозначим через  $\Pi_{p1}$  и  $\Pi_{p2}$  движения  $P$  относительно притира и цилиндрического колеса. Поверхность  $\Sigma_i$  представляет огибающую семейства инструментальных поверхностей  $P$  в движении  $\Pi_{pi}$  ( $i=1, 2$ );  $P$  и  $\Sigma_i$  находятся при этом в линейном контакте.

Обозначим через  $D^{(P1)}$  мгновенную линию контакта поверхностей  $P$  и  $\Sigma_1$ . Соответственно  $D^{(P2)}$  – мгновенная линия контакта  $P$  и  $\Sigma_2$ . Если линия контакта  $D^{(P1)}$  тождественна  $D^{(P2)}$ , то поверхности  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  находятся в линейном контакте. Можно представить, что все три поверхности  $P$ ,  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  – находятся в каждый момент времени в непрерывном контакте и касаются друг друга по одной и той же линии контакта  $D^{(P1)} \equiv D^{(P2)}$ . Линию контакта  $D^{(P1)}$  определим следующими уравнениями

$$\vec{r}_P = \vec{r}_P(u_P, \vartheta_P); \quad \vec{V}_P^{(P1)} i_P^{(P)} = 0,$$

где  $\vec{r}_P = \vec{r}_P(u_P, \vartheta_P)$  – уравнение производящей поверхности  $P$ ;  $i_P^{(P)}$  – орт нормали к поверхности  $P$  в системе  $S_P$ ;  $\vec{V}_P^{(P1)}$  – вектор скорости относительного движения в системе  $S_P$ .

Линия контакта  $D^{(P2)}$  определяется уравнением:

$$\vec{r}_P = \vec{r}_P(u_P, \vartheta_P); \quad \vec{V}_P^{(P1)} i_P^{(P)} = 0.$$

Очевидно, что  $D^{(P1)} \equiv D^{(P2)}$ , то есть линия контакта поверхностей  $P$  и  $\Sigma_1$ ,  $P$  и  $\Sigma_2$  будет одна и та же, если во всех точках линии  $D^{(P1)}$  будет удовлетворяться не только условие  $\vec{V}_P^{(P1)}; i_P^{(P)} = 0$ , но и условие  $\vec{V}_P^{(P2)}; i_P^{(P)} = 0$ . Следовательно

$$\vec{r}_P = \vec{r}_P(u_P, \vartheta_P); \quad \vec{V}_P^{(P2)}; i_P^{(P)} = 0.$$

Последнее уравнение выражает требование, что в каждой точке линии  $D^{(P1)} \equiv D^{(P2)}$  скорости  $\vec{V}_P^{(P1)}$  и  $\vec{V}_P^{(P2)}$  должны находиться в одной плоскости касательной поверхности  $P$ . Так как касательная плоскость к  $P$  определяется векторами  $\vec{dr}_P/du_P$  и  $\vec{dr}_P/d\vartheta_P$ , линейный контакт поверхностей  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  становится возможным, если во всех точках мгновенной линии контакта  $D^{(P1)}$  будут компланарными четыре вектора:  $\vec{dr}_P/du_P$ ,  $\vec{dr}_P/d\vartheta_P$ ,  $\vec{V}_P^{(P1)}$ ,  $\vec{V}_P^{(P2)}$ . При коллинеарности векторов  $\vec{V}_P^{(P1)}$  и  $\vec{V}_P^{(P2)}$  или их равенстве линейный контакт поверхностей  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  становится возможным, если на поверхности  $P$  в каждом ее положении найдется такая линия, в точках которой окажутся компланарными три вектора:

$$\vec{dr}_P/du_P, \quad \vec{V}_P^{(P1)} \quad \text{и} \quad \vec{V}_P^{(P2)} = k\vec{V}_P^{(P1)}.$$

Способ синтеза сопряженных поверхностей  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  посредством общей производящей поверхности  $P$ , широко применяется на практике [1, 2]. Так как для передач с параллельными и пересекающимися осями приведенные уравнения соблюдаются во всех точках линий контакта  $D^{(P1)}$  и  $D^{(P2)}$ , если мгновенная ось вращения  $L^{(P1)} \equiv L^{(P2)}$ . Под  $L^{(P1)}$  понимается мгновенная ось вращения при зацеплении  $P$  с  $\Sigma_2$ . При совпадении осей  $L^{(P1)} \equiv L^{(P2)}$  относительная скорость  $\vec{V}^{(P1)} = \lambda \vec{V}^{(P2)}$ , мгновенные линии контакта  $D^{(P1)} \equiv D^{(P2)}$ , поверхности  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  находятся в линейном контакте. Именно так воспроизводятся: 1) эвольвентное плоское зацепление с помощью общей инструментальной рейки, 2) конические колеса с постоянной высотой ножки, нарезаемые посредством одной производящей поверхности и др.

Рассмотренный синтез зубчатых передач на параллельных и пересекающихся осях не может быть использован для притирки цилиндрических и конических зубчатых колес. Это объясняется отсутствием относительного скольжения сопряженных поверхностей зубьев, направленного вдоль осей колес, и используемого в качестве главного движения резания.

Поэтому необходимо перейти к синтезу сопряженных зацеплений на перекрещивающихся осях. В этом случае реализуется обычно точечный характер касания. Естественно в этом случае будет реализован процесс притирки, если одно звено выполнить притиром. Однако такому процессу притирки присущи следующие принципиальные пороки: 1) быстрый износ притира из-за точечного характера касания; 2) большие термические нагрузки, приводящие к отпуску и понижению твердости изделия.

В исследовании сделана попытка синтезировать притир в пространственном станочном зацеплении. Напомним, что при нарезании зубьев на цилиндри-

ческих заготовках основное применение имеет обкатка. При этом инструмент подают вдоль образующей цилиндра, то есть параллельно оси вращения нарезаемого колеса, независимо от того, предназначены ли нарезаемые таким образом колеса для передач плоских (смонтированных на параллельных валах) или винтовых (смонтированных на перекрещивающихся валах). С таким положением сложно согласиться и, действительно, ряд исследователей стали нарезать цилиндрические колеса для винтовых передач при движении режущего инструмента по прямой, расположенной под углом к оси вращения нарезаемого цилиндрического колеса [3-6]. В этом случае получается зуб с переменной высотой. Естественно предположить, что инструмент, например, обкаточный резец должен двигаться по прямой, которая является прямолинейной образующей однополостного гиперболоида. В этом случае высота зуба остается постоянной. Обкаточный резец может быть прямозубыми или косозубыми.

Нарезание гиперболоидного колеса (притира) производят при помощи обкаточного резца. Для этого инструмент и нарезаемое гиперболоидное колесо кинематически увязаны при помощи гитары давления, если инструмент прямозубый. При косозубом инструменте, кроме гитары давления, настраивается гитара дифференциала. Для нарезания впадины по всей ширине гиперболоидной заготовки инструмент подается вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида.

Таким образом, при рассматриваемом методе притирки притир получается на однополостном гиперболоиде.

Исследования показывают, что в рассматриваемом случае характер касания цилиндрического колеса и гиперболоидного колеса будет линейным. При этом расположение линии контакта в основном зависит от угла скрещивания осей  $\gamma$ . При  $\gamma=180^\circ$  гиперболоидная заготовка становится цилиндрической и линии контакта на зубьях прямозубого колеса располагаются параллельно оси вращения колеса. При  $0,5 < \gamma < \pi$  имеем гиперболоидную передачу внешнего зацепления в которой линии контакта всегда наклонены по отношению к образующей зуба.

**Вывод.** При изготовлении гиперболоидного зубчатого колеса из чугуна, можно получить притир с линейным контактом касания с обрабатываемым цилиндрическим зубчатым колесом. В результате повышается производительность притирки из-за снижения термонагрузки и увеличения ширины притираемой поверхности.

**Список литературы:** 1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968, – 584с. 2. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – Киев: Вища школа, 1990. – 424с. 3. Давыдов Я.С. Неэвольвентное зацепление. – М.: Машгиз, 1950. – 180с. 4. Вітренко В.О. Гіперболоїдні інструменти для обробки і обладнання циліндричних прямозубих зубчатих коліс. – Київ, 1995. – 33с. 5. А.с. 310747, Л.Я. Либуркин, А.М. Павлов и В.А. Трубяков. Способ нарезания косозубого колеса долбяком. – М., 1971. 6. Кириченко І.О. Створення гіперболоїдних передач з лінійним контактом зубців. Автореф. дис. . докт.техн.наук. – Луганськ, 2004. – 35с.

Поступила в редколлегию 09.04.12