

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЕСТЕРЕН ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ НАСОСОВ

Шестеренные насосы (НШ) благодаря простой конструкции и надежности в работе являются составной и неотъемлемой частью многих гидросистем. Высокие эксплуатационные характеристики насосов обусловили их применение в гидросистемах тракторов; комбайнов; автомобилей МАЗ, КаМАЗ, САЗ, дорожно-строительных, коммунальных и многих других машин и механизмов.

Насосы шестеренные предназначены для нагнетания рабочей жидкости в гидравлические системы приводов управления навесными, полунавесными и прицепными орудиями сельскохозяйственной, дорожно-строительной, автомобильной и другой техники. В зависимости от характера процесса выталкивания рабочей жидкости насосы подразделяются на поршневые, крыльчатые и роторные. Среди указанных типов насосов наибольшее распространение в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении получили роторные шестерные гидромашин.

Принцип работы шестеренного насоса показан на рис. 1.

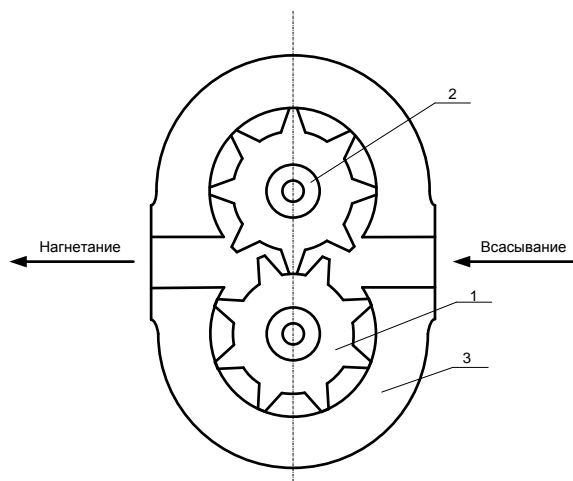


Рис. 1. Схема работы шестеренного насоса:

1 - ведущая шестерня; 2 - ведомая шестерня; 3 - корпус насоса.

Две шестерни равной ширины – ведущая и ведомая – находятся в зацеплении и расположены в корпусе с минимальным радиальным зазором. К торцовым поверхностям шестерен прилегают боковые стенки насоса. При вращении шестерен насоса в противоположные стороны в камере всасывания зубья выходят из зацепления, образуя разрежение (вакуум). За счет вакуума из бака в камеру всасывания поступает рабочая жидкость и заполняет впадины между зубьями шестерен. Рабочая жидкость вместе с впадинами зубьев шестерен перемещается по внутренней поверхности колодцев корпуса и переносится со стороны всасывания в сторону нагнетания. В камере нагнетания зубья шестерен входят в зацепление и выталкивают жидкость из впадин, которая из камеры Б поступает в нагнетательный трубопровод.

Объемный коэффициент полезного действия (КПД) в основном зависит от утечек рабочей жидкости через зазоры, образованные головками зубьев и корпусом насоса, а также между торцовыми поверхностями шестерен и боковыми стенками

корпуса. Кроме того, дополнительно возникают утечки по линии контакта зубьев. Чтобы уменьшить радиальные утечки, зазор между шестернями и корпусом насоса делают минимальным, а для снижения торцовых утечек боковые стенки автоматически прижимаются к торцевым поверхностям шестерен жидкостью под рабочим давлением. Максимальное значение КПД шестеренных насосов – 0,8...0,95. На выходе из гидронасоса и в напорной магистрали создается рабочее давление, достигающее 100 кгс/см² [1].

Работоспособность шестеренчатого насоса определяется во многом герметичностью сопряжений его деталей. Появления различных дефектов в деталях шестеренчатых насосов (типа НШ) приводят к увеличению зазоров в их сопряжениях, увеличению внутренних потерь рабочей жидкости, уменьшению производительности, а также падает развиваемое давление жидкости [1, 2]. В результате такого перепада давлений возникает результирующая сила, направленная в сторону камеры всасывания. Под действием этой неуравновешенной силы рабочие поверхности головок зубьев оказываются сильно прижатыми к внутренней поверхности колодцев со стороны входа. В результате этого возникает трение между поверхностями зубьев и внутренней стенкой колодца. Это вызывает постепенный износ трущихся поверхностей и образование зазора между поверхностью зуба и стенкой колодца со стороны камеры нагнетания, что резко снижает напорное давление в камере нагнетания почти в 2-2,5 раза. Такой износ наблюдается на шестернях, рис. 2.



Рис. 2. Изношенная шестерня

Износ элементов шестерен по-разному влияет на объем рабочей камеры насоса. Износ зубьев шестерен по наружному диаметру приводит к большей скорости понижения объема рабочей камеры, чем при износе шестерни по ширине, а износ эвольвентного профиля зубьев шестерен практически не влияет на объем рабочей камеры.

Равномерный износ имеет на герметичность меньшее влияние, чем неравномерный. Характер износа определяется процессами износа поверхности деталей, что позволяет получить необходимую информацию для правильного конструирования и выбора метода упрочнения деталей. Исследованиями установлено, что износ зубьев шестерен по наружному диаметру носит равномерный характер, а износ торцевых поверхностей зубов неравномерный. При этом максимальный износ наблюдается у вершин зубьев, что объясняется увеличением скорости трения [3].

Анализ изношенных поверхностей эвольвентного профиля зубьев шестерен показывает, что больший износ зубьев по высоте находится возле ножки ведущей и у вершины ведомой шестерни. Такой характер износа соответствует теоретическим положениям о коэффициенте скольжения зубчатого зацепления. Кроме того, работоспособность соединения шестерен насоса с эвольвентным профилем во многом определяется погрешностью направления зубьев, строго лимитируется при изготовлении.

Для выявления ведущего вида износа используются различные методики исследования поверхностей: визуальный осмотр, фотографирование, изучение характерных признаков макрогеометрии изношенных поверхностей.

Вершины зубьев шестерен подвергаются гидроабразивному износу абразивными частицами, которые проникают в более мягкие рабочие поверхности корпуса. Особенностью шероховатости изношенных вершин зубьев шестерен является незначительная волнистость и сравнительно незначительное - в 2-3 раза - увеличение шероховатости по сравнению с новой деталью. Этим поверхностям присущи глубокие и широкие борозды, которые достигают длины до 2,5 мм и глубины до 0,015 мм. Кроме этого, вершины зубьев подвергаются воздействию гидроабразивного потока, который образуется благодаря потерям рабочей жидкости через радиальный зазор.

Механизм износа при наличии абразивных частиц в масле можно представить следующим образом. Абразивные частицы, попавшие в зазор радиального сопряжения зубьев у полости всасывания, заклиниваются во впадинах микрорельефа поверхностей головки зуба и колодца корпуса. Вращение шестерни сопровождается проталкиванием частиц, что вызывает микрорезание поверхности колодца корпуса и одновременно разрушение микровыступов поверхности головки зуба. По мере увеличения зазора (вызванного совместным действием неуравновешенной силы и мелких абразивных частиц) в сопряжении дальнейшее изнашивание происходит в основном под действием наиболее крупных частиц абразива. У полости нагнетания гидроабразивный поток движется через образовавшийся зазор навстречу вращению шестерни. Во время соударения абразивной частицы с поверхностью головки зуба происходит разрушение как частицы, так и поверхности зуба, т.е. поверхность головки зуба подвергается гидроабразивному изнашиванию преимущественно у полости нагнетания ударом абразивной частицы и абразивному изнашиванию преимущественно у полости всасывания в процессе заклинивания этих частиц в углублениях поверхности микрорельефа поверхности головки зуба, что вызывает микрорезание сопряженной поверхности и появление касательных напряжений в микровыступах. Изнашивание усиливается в результате действия неуравновешенной силы, действующей в направлении камеры всасывания и усиливающей заклинивание абразивных частиц.

Выбраковочным дефектом шестерни считается износ вершин зубьев до размеров менее $\varnothing 54,80$ мм, а исходный размер шестерни по диаметру вершин зубьев составляет $\varnothing 55_{-0,105}^{-0,065}$ мм. Кроме того, износу подвержены цапфа шестерни и эвольвента зуба.

Однако степень износа указанных мест незначительна и, в сущности, не влияет на работоспособность шестерни и всего гидронасоса.

Выбраковочные дефекты на шестерни типа НШ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Выбраковочные дефекты шестерен типа НШ

| Наименование | Величина, мм |
|---|--------------|
| Износ по наружному диаметру зубьев, менее | 54,85 |
| Износ диаметра цапф, менее | 25,90 |
| Износ ширины венца шестерни, менее | 32,00 |

Основным выбраковочным дефектом шестерни гидронасоса НШ является износ шестерни по диаметру вершин зубьев, ресурс работы остальных поверхностей трения остается достаточным для дальнейшей эксплуатации.

Вид восстанавливаемых шестерен (ведущей и ведомой) показан на рис. 3.

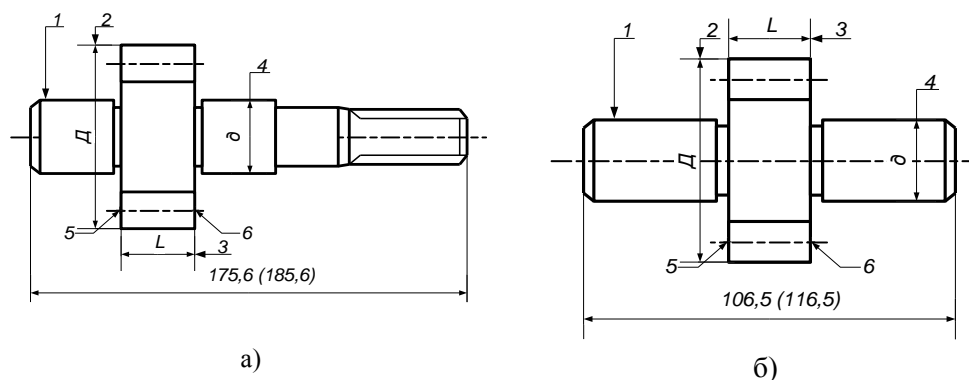


Рис. 3. Восстанавливаемые шестерни:
а) ведущая шестерня; б) ведомая шестерня.

Технические условия на шестерни типа НШ-46У приведены в таблице 2, размеры по рабочим чертежам ведущей и ведомой шестерни приведены в таблице 3 [4].

Таблица 2
Технические условия на шестерни гидронасосов типа НШ-46У

| Наименование | Величина, мм |
|---|--------------|
| Биение торцов (5,6) в центрах, не более | 0,01 |
| Биение поверхностей (1,2,4) в центрах, не более | 0,01 |
| Некруглость поверхностей (1,4), не более | 0,005 |
| Нецилиндричность поверхностей (1,4), не более | 0,005 |

Таблица 3
Ремонтные размеры шестерен гидронасосов типа НШ-46У

| Марка гидронасоса | Условное обозначение | Размеры по рабочему чертежу | Категория ремонтного размера | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | P1 | P2 | P3 |
| НШ-46У | D | $55^{+0,80}_{-0,145}$ | $54,8_{-0,02}$ | $54,7_{-0,02}$ | $54,6_{-0,02}$ |
| | d | $26^{+0,80}_{-0,145}$ | $25,8^{+0,020}_{+0,005}$ | $25,7^{+0,020}_{+0,005}$ | $25,6^{+0,020}_{+0,005}$ |
| | L | $32^{+0,045}$ | $31,8_{-0,04}$ | $31,7_{-0,04}$ | $31,5_{-0,04}$ |

Таким образом, ведущим видом износа рабочих поверхностей шестерен является гидроабразивный износ частицами, которые закрепляются в деталях насоса с низкой твердостью - втулках и корпусе. Рабочие поверхности деталей насоса изнашиваются на величину, которая определяется соотношением жесткости частиц и деталей, размеров частиц и механических примесей и зазорами в сопряжениях насоса.

Шестерни (ведущую и ведомую) изготавливают из легированной стали 18ХГТ, подвергают цементации на глубину 0,9—1,5 мм и закалке до твердости

HRC 58—62. Шестерни изнашиваются по торцовым плоскостям зубьев, по наружному диаметру цапф и наружной поверхности головок зубьев шестерен.

Существуют способы восстановления шестерен путем уменьшения размера и путем восстановления.

Незначительные износы шестерен в пределах толщины термообработанного слоя позволяют восстанавливать их путем шлифовки под ближайший уменьшенный ремонтный размер в пределах толщины слоя цементации цапф, торцов и наружной поверхности головок зубьев шестерен [5, 6]. Радиус закругления кромок зубьев должен составлять 0,01мм. Биение торцов зубьев шестерен относительно центральной линии допускается не более 0,01мм.

Глубина слоя цементации шестерни после обработки должна быть не менее 0,8мм (твердость HRC 58-62).

В зависимости от длины зуба отремонтированные шестерни каждого ремонтного размера сортируют по группам с интервалом 0,005мм, пользуясь рычажной скобой. Этот способ отличается простотой, низкой трудоемкостью и себестоимостью, но компенсация износа шестерен по наружному диаметру, по ширине зуба, а также цапф шестерен по диаметру достигается за счет восстановления в уменьшенный ремонтный размер корпуса и втулок насоса, сочетающихся с шестернями. Это приводит к увеличению сложности и себестоимости ремонта насоса в целом.

Авторами работ [7, 8] предлагается способ восстановления шестерен из цементируемых марок стали термопластическим деформированием. Деталь нагревают до температуры 1000...1100⁰С и помещают в штамп для раздачи. Раздача производится прошивным пуансоном со скоростью 80-150 мм/с с усилием на штоке 100-120 кН. После раздачи шестерня подвергается отжигу и последующей механической и термической обработке. К существующим недостаткам способа следует отнести невозможность восстановления венца шестерни по длине, низкую устойчивость тонких прошивных пуансонов и недостаточность создаваемого припуска для качественного восстановления шестерен в процессе дальнейшей механической обработки.

Также, к существенным недостаткам восстановления шестерен пластической деформацией следует отнести значительные энерго-и трудозатраты, полный цикл термической обработки шестерен и значительный объем последующей механической обработки.

Существует способ восстановления шестерен методом дополнительных ремонтных деталей [9]. Этот метод заключается в удалении следов износа шлифовкой. После этого на цапфах шестерен устанавливаются компенсационные пластины с профилем, соответствующим профилю возобновляемой шестерни, без их закрепления на торцах шестерен. Предлагаемый способ позволяет восстановить износ зубьев шестерен по ширине. За счет увеличения ширины венца шестерни возможно восстановить исходный рабочий объем насоса, но появление нового сопряжения «шестерня - компенсационная пластина» создает дополнительные возможности для потери рабочей жидкости. Кроме того, высокая твердость торцов пластин и шестерен почти исключает возможность приработки этих поверхностей.

Р.Б. Саидовым разработан способ восстановления шестерен гальваническими покрытиями [10]. Недостатком данного способа является сложность получения равномерных покрытий на рабочих поверхностях из-за наличия острых граней детали, на которых происходит образование дефектов в виде «дендритов» и «загаров».

Одним из способов восстановления шестерен гальваническими покрытиями является нанесение полимерно-металлических покрытий при восстановлении цапф и торцов шестерни [11].

Авторы работ [12, 13] предлагают восстанавливать изношенные поверхности шестерен способом лазерной наварки порошков. Используются дорогостоящие самофлюсующиеся порошки на основе никеля СНГН и АГ-СР.

Метод электроконтактной приварки порошковых материалов (ЭКП-ПМ) использовался для восстановления головок зубьев шестерен гидронасосов типа НШ [14]. Сущность предложенного способа заключается в том, что в приспособление, выполняющее функции нижнего электрода контактной машины, насыпают порошковый материал и прижимают шестерню верхним электродом и внешней поверхностью головки зуба, а затем производят электроконтактную приварку порошка путем пропускания импульсов сварочного тока. При этом происходит совмещение двух процессов: горячего прессования и приварки.

Разработана также технология механической обработки головок зуба после приварки порошка.

Недостатки данного метода:

- необходимость применения многоциклового и многопроходной схемы приварки порошка для достижения заданной толщины упрочненного слоя, так как толщина слоя, наплавляемого за один проход, определяется дисперсностью частиц, формой, влажностью, внутренним трением и др. и в среднем составляет 0,25 мм;

- нестабильность воспроизводства состава и свойств композиционных порошковых сплавов вследствие сепарации составляющих компонентов по удельному весу, размерам и форме частиц порошка и особенностям уплотнения и нагрева порошка у края электрода;

- сложность равномерного распределения порошка по поверхности и высоте.

Основными показателями качества восстановленных зубьев являются надежность сплавления присадочного металла с основным, получение заданных геометрических размеров профиля восстанавливаемого зуба, высокие механические свойства наплавленного металла и зоны термического влияния, а также качество формирования рабочей поверхности наплавленного зуба.

ВЫВОДЫ

1. Основным выбраковочным дефектом шестерни гидронасоса марки НШ является износ шестерни по диаметру вершин зубьев, ресурс работы остальных поверхностей трения остается достаточным для дальнейшей эксплуатации.
2. Ведущим видом износа шестерен шестеренчатых насосов является гидроабразивный износ.
3. Износ зуба шестерни НШ приводит к пониженной производительности.
4. Существующие методы восстановления зуба шестерни НШ требуют разработки новых технологий и материалов.

Перечень ссылок

1. *Матвієнко О.О.* Втрати робочої рідини через радіальний зазор в сучасних шестеренних насосах типу НШ / *Ю.В. Кулшиков, М.І. Черновол, О.О. Матвієнко* // Підвищення надійності відновлюємих деталей машин: вісн. Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Х., 2001. – Том 2. – №8. – С. 87–90.
2. *Матвієнко О.О.* Вплив величини радіального зазору на зношення корпуса шестеренного насоса типу НШ під час обкатки / *Ю.В. Кулшиков, О.О. Матвієнко* // Вибрації в техніці і технологіях: зб. наук. пр. за матеріалами V міжнар. наук.-техн. конф. АС ПГП. – 2003. – №2 (28). – С. 95 – 98.
3. *Козарев В.П.* Прочность и износостойкость деталей машин / *В.П. Козарев, Ю.Н. Дроздов.* – М.: Высшая школа, 1991. – 319с.
4. *Кальбус Г.Л.* Навесные системы и автономные гидросистемы новых тракторов / *Г.Л. Кальбус.* – К.: Урожай, 1976. – 152 с.
5. Патент №2374491 Россия, МПК F04C2/08. Способ ремонта шестеренного насоса / *Кашафутдинов З.М., Кашафутдинов Р.З.* - Оpubл. 20.07.2009.

6. Патент №28702 Украина, МПК В23Р6/00. Способ ремонта шестеренных насосов методом уменьшенных размеров / *Кулешков Ю.В., Чернопол М.И., Маговец С.А., Каменщиков Е.В.* - Оpubл. 16.10.2000. Бюл. №5.
7. Патент №2110387 Россия, МПК В23Р6/00. Способ восстановления шестерен / *Хромов В.Н., Кулешков Ю.В., Бугаев В.Н.* - Оpubл. 10.05.1998.
8. *Ковальчук Ю.М.* Технология и установка для восстановления валов-шестерен гидронасосов типа НШ, тезисы докладов на НТК стран-членов СЭВ и СФРЮ «Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин.» / *Ю.М. Ковальчук, В.И. Климин, А.И. Брусенцов и др.* - М.: ЦНИИТЭИ, 1983.
9. Патент №53960 Украина, МПК В23Р6/00. Способ ремонта шестеренных гидромашин внешнего зацепления / *Кулешков Ю.В., Чернопол М.И., Маговец С.А., Матвиенко А.А., Руденко Т.В.* - Оpubл. 17.02.2003. Бюл. №2.
10. Приспособление для восстановления шестерен гидронасосов НШ-46 и НШ-32 способом гальванического покрытия. Ремонт и техническое обслуживание машино-тракторного парка. Реферативный сборник ЦНИИТЭИ, М.: 1974, №4, С. 6-7.
11. *Саидов Р.Б.* Восстановление шестерен гидронасосов полимерно-металлическими покрытиями / *Р.Б. Саидов* // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – №10. – С. 58 – 59.
12. *Чероноиванов В.И.* Новые технологические процессы и оборудование для восстановления деталей сельскохозяйственной техники / *В.И. Чероноиванов, В.П. Андреев.* – Л.: Высшая школа, 1983. – 95 с.
13. *Архипов В.Е.* Лазерная наплавка деталей / *В.Е. Архипов, Е.М. Биргер, А.И. Теличко* // Техника в сельском хозяйстве. – 1984. – №6. – С. 47 – 51.
14. *Дорожкин Н.Н.* Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками / *Н.Н. Дорожкин.* – Минск.: Наука и техника, 1975. – 152 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Щетинина В.И.

Статья поступила 02.02.2015г.