

## РЕМОНТ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИМ ОБЖАТИЕМ

Мухамбетов Г.М.,

*Төлкелерді қыздыру және салқындату арқылы жөндеу зерттеулердің нәтижелері келтірілген.*

*In this article is typed results of the scientific studies on repair bushings of the ship diesels through heating and cooling.*

Ресурс двигателя, в первую очередь, зависит от износостойкости деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), которые при капитальном ремонте двигателя заменяются новыми или восстановленными.

Втулки цилиндров двигателя Д-50, КамАЗ-740, СМД-60 отработавшие межремонтный ресурс, имеют средний износ 0,14...0,22мм, максимальный износ не превышает 0,33...0,51мм. При этом 4...7% втулок подлежат выбраковке по причине трещин и сколов; 83...86% втулок требуют восстановления до номинального или ремонтного размера [1].

Основным способом восстановления изношенных цилиндровых втулок судовых дизелей 4ЧСП 8,5/11, как и вышеуказанных двигателей, является расточка под ремонтный размер, что влечет за собой снижение твердости внутренней поверхности и необходимость организации производства поршней и поршневых колец ремонтного размера. Способы восстановления цилиндровых втулок в номинальный размер не нашли широкого применения из-за того, что не соответствуют требованиям стандарта по качеству и имеют высокую себестоимость.

В связи с этим, разработка метода восстановления цилиндровых втулок в номинальный размер, отвечающих требованиям стандартов, является актуальной задачей ремонтного производства.

В настоящее время разработано несколько способов восстановления и упрочнения внутренней поверхности цилиндровых втулок дизельных двигателей, которые по своей технологии делятся на расточку под ремонтный размер и восстановление до номинального размера.

Для восстановления цилиндровых втулок в номинальный размер применяются такие способы: металлизация, гальванические способы, запрессовка износостойких пластин, наплавка на внутреннюю поверхность износостойких порошков, восстановление нагревом и т.д.

Основными характерными недостатками приведенных выше способов являются:

- металлизация – низкая адгезионная прочность, использование дорогих материалов, сложность мехобработки и высокий уровень шума;
- осталивание – низкая износостойкость, сложность мехобработки, высокая трудоемкость;

- хромирование – низкая производительность, высокая стоимость процесса, недостаточная смачиваемость и прирабатываемость поверхности;
- пластинирование – высокая степень точности всех операций, повышенный износ поршневых колец и угар масла, нарушение теплообмена в стенках втулки;
- центробежное напекание – значительные деформации, высокая стоимость материалов, сложность мехобработки.

Кроме того, практически все эти способы оказывают неблагоприятное влияние на экологию.

Как показано в работе [2] весьма перспективна разработка и внедрение в ремонтное производство новой технологии восстановления втулок цилиндров способом термопластического деформирования.

Преимуществами этого способа являются: простота технологии, сохранение первоначальных триботехнических условий для сопряжения втулка – поршневое кольцо, минимальный припуск на мехобработку, высокая производительность и экологическая чистота процесса. Но более перспективным является термопластическое обжатие (ТПО) с применением матрицы.

Обжатие втулки происходит при непрерывно-последовательном быстром нагреве и охлаждении локального кольца всего ее участка, в результате действия высокого подвижного градиента температуры (ГТ). Взаимное расположение и движение индуктора и спрейера относительно восстанавливаемой втулки непосредственно влияют на величину деформации и коробления детали, изменение ее микроструктуры, твердости поверхности, характера и значения остаточных напряжений, образование трещин, производительность процесса и себестоимость восстановления.

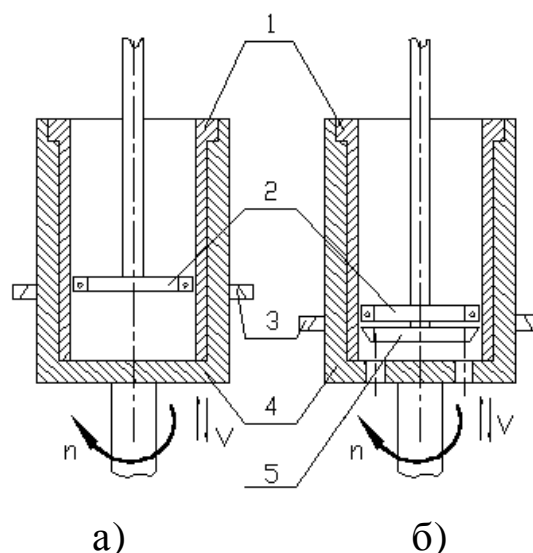


Рис.1. Схема восстановления внутренней цилиндрической поверхности цилиндрических втулок термопластическим обжатием. а) – незакаливаемых втулок из легированного чугуна б) – закаливаемых втулок: 1 – втулка цилиндра, 2 – индуктор, 3 – спрейер охлаждающий, 4 – охлаждаемая матрица, 5 – спрейер закалочный.

Для восстановления легированных цилиндрических втулок предложенный способ осуществляется по схеме, представленной на рисунке 1.а.

Втулка при нагревании свободно расширяется до контакта с матрицей. При дальнейшем нагревании матрица препятствует свободному расширению материала втулки, что приводит к её пластической деформации, т.е. перераспределению металла внутрь, по толщине стенки. После ТПО происходит процесс уменьшения внутреннего диаметра которое происходит за счет пластической деформации материала втулки. При этом величина остаточной деформации втулки компенсирует их износ, возникающее коробление втулки и припуск на механическую обработку.

С целью равномерного нагрева втулки по диаметру и высоте в процессе обжата предусмотрено вращение и продольное перемещение втулки.

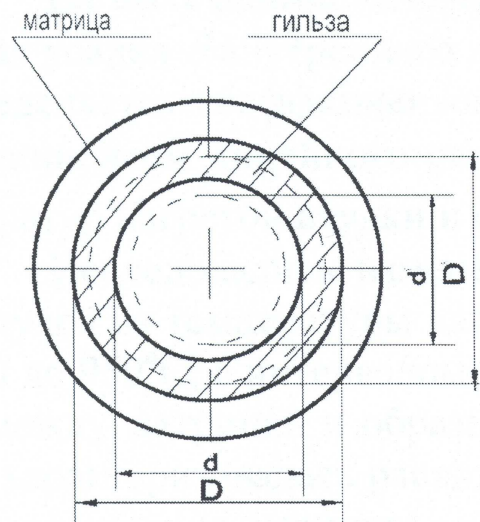
Основными параметрами режима восстановления являются: температура нагрева, скорость нагрева, скорость охлаждения, скорость вращения детали, зазор между матрицей и деталью и некоторые другие, которые оказывают существенное влияние на процесс пластической деформации, следовательно, и на величину уменьшения внутреннего диаметра втулки.

Температура нагрева, скорость нагрева и скорость охлаждения так же определяют структуру металла восстановленной втулки. При восстановлении закаленных цилиндрических втулок необходимо одновременно решить три взаимосвязанные задачи: получить необходимую усадку, закаленную поверхность HRC, 40...42 и бездефектную внутреннюю поверхность (трещины не допускаются). Усадка определяется пластичностью металла, а твердость его хрупкостью, быстрый нагрев и охлаждение детали вызывают возникновение высоких напряжений, которые приводят к образованию трещин.

Для решения задачи ТПО закаленных втулок предложен комбинированный способ восстановления цилиндрических втулок (рис.1.б).

*Процессы, происходящие во втулке при ТПО.* Сущность ТПО заключается в том, что при быстром индукционном нагреве деталей типа «полый цилиндр» создается градиент температуры, который, деформируя деталь, вызывает ее остаточную деформацию (усадку), достаточную для компенсации износа поверхности и дальнейшей механической обработки. При этом в одном технологическом цикле, в различной последовательности, выполняются операции нагрева, деформации и охлаждения детали. Кроме того, на пластическую деформацию оказывают влияние внешние силы (охлаждаемая жесткая матрица) и внутренние (холодные слои металла вокруг локально нагретого кольца части втулки) ограничители, рисунок 2.. Поэтому, чтобы получить необходимую усадку втулки без матрицы, на практике применяют многократное повторение циклов. Использование высоких градиентов температур при восстановлении деталей способом ТПО создает предпосылки возникновения и развития трещин.

Применение внешнего механического ограничителя (матрицы) способствует их «залечиванию».



**Рисунок 2. Схема изменения линейных размеров сечения образца втулки при ТПО в матрице.  $D, d$  и  $D', d'$  - соответственно наружный и внутренний диаметр втулки до и после ТПО.**

Исходя из равенства объемов до и после ТПО

$$\Delta_g^T \pi d l = \Delta_n^T \pi D l'$$

где  $\Delta_g^T = d - d'$  - теоретическая усадка внутреннего диаметра после ТПО;

$\Delta_n^T = D - D'$  - теоретическая усадка наружного диаметра после ТПО;

$l = l'$  - длина втулки принятая нами по предположению неизменной до и после ТПО.

Величина возможной деформации втулки при ТПО составляет:

$$D' = D / (1 + \alpha \cdot \Delta T) - S$$

За оценочный параметр усадки втулки после ТПО принимаем относительное изменение внутреннего диаметра втулки

$$\delta = (d - d') / d = \Delta_g^T / d$$

Преобразуя формулу получаем:

$$\delta = \Delta_n^T D / d^2 = D^2 [1 - 1 / (1 + \alpha \cdot \Delta T)] / [D(1 - \beta)]^2 = [1 - 1 / (1 + \alpha \cdot \Delta T)] / (1 - \beta)^2$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала детали;

$\Delta T$  - разность температур нагретой и охлажденной детали;

$$\delta = \alpha \cdot \Delta T (1 - \beta)^2 k - S$$

где  $k$  - коэффициент остаточной деформации, учитывающий сдерживание процесса деформации холодными частями втулки;

$S$  - зазор между матрицей и втулкой.

Из полученной математической зависимости следует, что относительная усадка  $\delta$  внутреннего диаметра втулки не зависит от его размера  $d$  и определяется коэффициентом  $\beta$  относительной толщины стенки втулки, коэффициентом линейного расширения материала втулки  $\alpha$  и разностью температур нагретой втулки и охлажденной втулки  $\Delta T$ .

Исследовались изменения величины и формы усадки цилиндрических втулок от температуры нагрева. Исследования проводились в пределах от 700 до 950°C, с интервалом 50°C, при скорости нагрева  $V_m = 70^\circ\text{C}/\text{с}$  и зазоре между матрицей и образцом  $S_o = 0,1$  мм;. Скорость охлаждения матрицы характеризовалась расходом воды через спрейер в единицу времени. Для охлаждения матрицы расход составлял 70 л/мин., для закалки - 20 л/мин.

Исследования показывают, что наибольший коэффициент усадки принадлежит интервалу нагрева 800...850°C. Это объясняется тем, что при индукционном нагреве в первоначальный период, пока деталь "холодная" (в интервале до 700°C), усадка происходит, в основном, за счет градиента температуры (скорости нагрева) и незначительно - за счет температуры. Далее, когда ток проникает в тело детали и увеличивается толщина нагретого слоя до 800...850°C, то на величину усадки оказывает совместное действие температура и градиент температуры. При нагреве втулки свыше 850° влияние градиента температуры по сечению втулки снижается, и усадка определяется, в значительной степени, только температурой нагрева.

При увеличении температуры нагрева происходит резкое увеличение овальности и конусообразности втулки, которые достигают при 950°C 0,15 и 0,17 мм соответственно. Наилучшие результаты получены при температуре нагрева 850°C. При этой температуре достигается необходимая для последующей механической обработки усадка и допустимое отклонение формы отверстия втулки, что обеспечивает ее восстановление с износом до 0,5 мм включительно.

С увеличением скорости охлаждения величина усадки увеличивается вследствие меньшего теплового расширения матрицы. Твердость, глубина закаленного слоя и структура материала находятся в такой же зависимости, что и радиальная усадка втулки, т.е. твердость и глубина закаленного слоя будет тем больше, чем выше температура, скорость нагрева и охлаждения детали.

Основными параметрами оптимизации являлись:

- величина диаметральной усадки ;
- твердость внутренней поверхности , HRC ;
- бездефектность материала втулки (отсутствие трещин после ТПО втулки);
- структурные изменения материала.

Анализируя результаты экспериментов и учитывая выше сказанное, оптимальными режимами ТПО необходимо принимать средние режимы, обеспечивающие надежную эксплуатацию оборудования, экономию электроэнергии и др.

По результатам анализа выбраны режимы ТПО при восстановлении цилиндрических втулок (табл.1).

Исследованием установлено, что при пластической деформации в деталях возникают остаточные внутренние напряжения, которые при определённых условиях могут повлиять на геометрические параметры, следовательно на долговечность этих деталей.

В связи с тем, что «усадка» втулки при способе ТПО в матрице происходит как по внутренней, так и по наружной поверхности, возникает необходимость нанесения компенсационного покрытия на посадочные пояски. В результате измерений восстановленных втулок, средняя усадка наружных посадочных поясков составила 0,5...0,6 мм. на диаметр при овальности 0,05...0,1мм., удлинение втулки составило 0,2...0,35 мм.

**Таблица 1. Режимы восстановления цилиндрических втулок**

| Втулки цилиндров   | легированные                   |  | закаленные            |                             |
|--|--------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------|
|  | без предварительного подогрева |  | с предварит. нагревом |                             |
| Температура нагрева, °С                                      | 840...860                      |  | 840...860             | 800... 820                  |
| Скорость нагрева, град./с                                    | 70...80                        |  | 70... 80              | 50...60                     |
| Расход воды для матрицы, л/м                                 | 60...70                        |  | 60...70               | 70 ..80                     |
| Расход воды для спрейера, л/м                                | -                              |  | 20                    | 20 ...25                    |
| Скорость относительного перемещения втулки и индуктора, мм/с | 1,7...2,0                      |  | 1,7....2,0            | 3,0...3,5<br>2,0...2.5(р.х) |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup>                          | 26                             |  | 26                    | 26                          |

При выборе покрытия, компенсирующего усадку и износ, учитывалось следующее: покрытие толщиной 0,5...0,6 мм должно иметь достаточную прочность сцепления с поверхностью втулки в условиях механических, тепловых нагрузок, долговременной эксплуатации двигателя. Этим условиям, в наиболее полном объеме, удовлетворяет способ электродуговой металлизации.

Проведенные сравнительные испытания восстановленных втулок способом ТПО в матрице и новых втулок показали, что износостойкость восстановленных втулок на уровне новых.

Испытания на износостойкость втулок, восстановленных в номинальный размер различными способами показали, что в целом, способ ТПО в матрице является более предпочтительным, в сравнении с другими способами.

Для того чтобы восстановить втулку в номинальный размер, в соответствии с чертежом, технологический процесс должен придерживаться следующей последовательности и состоять из следующих операций:

- очистка; дефектация; предварительная токарная обработка наружной поверхности; ТПО втулки; пескоструйная обработка; электродуговая металлизация; черновая токарная обработка посадочных поясков; растачивание внутренней поверхности; полустовое и чистовое хонингование внутренней поверхности; финишная антифрикционная безабразивная обработка; очистка внутренней поверхности; чистовая обработка посадочных поясков; контроль.

### **Результаты и выводы**

Способ ТПО обжатия втулки в матрице имеет значительные преимущества при восстановлении износа цилиндрических втулок:

1. Достигается наибольшая усадка втулок за один цикл 0,7...1,1мм; отсутствуют значительные остаточные напряжения, коробление и трещины; сохраняется высокая точность геометрии внутренней поверхности втулки (отклонение от цилиндричности не более 0,1мм;).

2. Способ ТПО в матрице с комплектом оборудования обеспечивает восстановление закаленных и легированных цилиндрических втулок в номинальный размер с физико - механическими свойствами на уровне новой детали..

3. Установлено, что относительная усадка внутреннего диаметра втулки зависит от коэффициента относительной толщины стенки втулки, коэффициента линейного расширения материала втулки и разности температур нагретой и охлажденной втулки и не зависит от его размера.

4. Метод ТПО втулки в матрице, обеспечивает усадку цилиндрических втулок двигателей типа 4ЧСП 8,5/11 в пределах 0,6... 1,1мм.

- ресурс восстановленной втулки способом ТПО на уровне новой;
- скорость износа сопряженных деталей (поршни и поршневые кольца), работавших в новых и восстановленных втулок, одинакова;
- себестоимость восстановления втулки не более 60% от стоимости новой.

#### **Литература:**

1. Ширяев А.А., Костюков А.Ю, Бойченко А.Э.Финишная антифрикционная безабразивная обработка внутренней поверхности гильз и цилиндров блоков автотракторных двигателей.: -М.: Труды ВНИИТУВИД «Ремдеталь». - 1999.
2. Костюков А.Ю. Восстановление гильз цилиндров термическим деформированием.: -М.: Труды МГАУ, 2000.
3. Лялякин В.П. Бойченко А.Э. Костюков А.Ю. и др. Методы контроля новых и изношенных деталей. М.: ГОСНИТИ 2005.-240с.