

УДК 621. 629.3; 669.54. 793

**Теловов Н.К. Инструмент ремонта стержней шатунов двигателей**  
Tool repair rods connecting rods of the engines.

**Теловов Н.К.**

старший преподаватель кафедры мелиоративных и строительных машин.  
Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева.  
Telovov N. K.  
senior lecturer of the Department of reclamation and construction machines.  
Russian state agrarian University named after K. A. Timiryazev.

*Аннотация.* В работе приводится схема и расчеты приспособления для ремонта стержней шатунов двигателей внутреннего сгорания, что в свою очередь может способствовать сокращению простоев в ремонте из-за нехватки запасных частей.

*Ключевые слова:* ремонт; двигатель; деформация; восстановление; шатун.

*Abstract.* This paper provides a diagram and calculations of devices for repairing rods of connecting rods of internal combustion engines, which in turn can help reduce downtime in repairs due to a lack of spare parts.

*Keywords:* repair; engine; deformation; restoration; connecting rod.

---

**Рецензент:** Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

**Описание приспособления:** Шатуны относятся к классу «некруглые стержни» и изготавливаются у двигателей ЗИЛ-130 – из стали 40Р; у ЗМЗ – стали 45Г2; у ЯМЗ – из стали 40Х; у КамАЗ – из стали 40ХН2МА. Основным дефектам шатунов относятся изгиб и скручивание. Допустимое значение изгиба и скручивания для ЗИЛ – 0,04 мм; для КамАЗ – соответственно 0,04 и 0,08 мм на длине 100 мм. Известно, что деформированный шатун приводит к увеличению расхода масла из-за перекоса поршня и колец в цилиндре. Кроме этого увеличивается шум и, самое главное, снижается ресурс деталей, связанных с деформированным шатуном. У шатуна деформируется, как правило, стержень. Наличие деформации легко провернется на поверочной плите или при помощи лекальной линейки. В первом случае шатун качается, во втором случае идет проверка "на просвет" у головок. Считается, что максимальная деформация (изгиб, не параллельность осей головок шатуна) не должна превышать половины диаметрального зазора между поршнем и цилиндром. При зазоре 0,05...0,08 мм максимальная деформация не должна быть более 0,025...0,040 мм на длине, равной диаметру цилиндра. Деформированные шатуны подлежат правке или замене. В тех случаях, когда на шатуне обнаружена трещина, шатун заменяется обязательно.

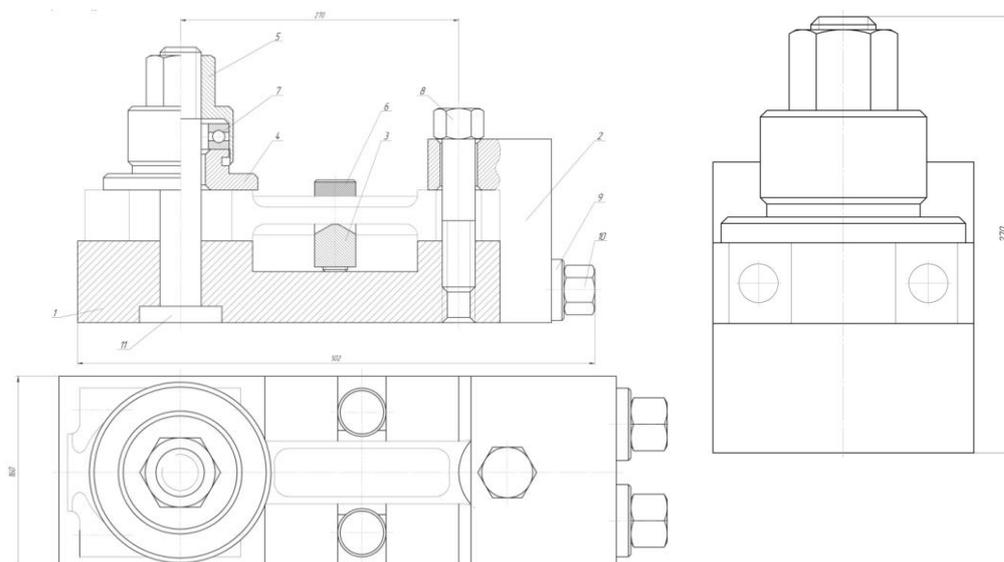


Рисунок 1. Ремонтное приспособление для правки стержней шатунов двигателей

Ремонтное приспособление предназначено для проверки и правки шатунов дизелей тракторов и автомобилей, имеющих одинаковую ширину верхней и нижней головок рисунок 1 а, б, Оно закрепляется на краю верстака тремя болтами так, чтобы площадка под нижнюю головку шатуна была на краю верстака.

Правка на приспособлении позволяет восстановить параллельность осей головок шатуна и устранить скручивание стержня или скрещивание осей головок. Верхняя головка шатуна зажимом 2 притягивается к основанию 1. На нижнюю головку воздействуем через упорный подшипник опорой 4, вращая гайку 5 на болте 11. Требуемая деформация стержня осуществляется передвижным упором 3. Для устранения скрещивания осей головок или скручивания стержня шатуна последний поворачиваем на приспособлении верхней головкой в другую сторону и зажимаем только за нижнюю головку. В верхнюю головку вставляем стержень длиной 0,5...0,8 м и, действуя им как рычагом, устраняем скручивание стержня шатуна. Усилие правки определяем исходя из линейных размеров и формы шатуна и предела текучести материала. Рабочая нагрузка 400 кг. Допустимое значение изгиба стержня шатуна 0,08 мм на длине 100 мм., допустимое значение скручивания стержня шатуна 0,08 мм. На длине 100мм.

При значительной правке шатунов желательно подвергнуть отжигу с нагревом до 180...200 °С, выдержкой 3...4 ч и охлаждением вместе с печью. При отжиге снимаются остаточные напряжения после деформации, и повышается пластичность материала шатунов.

Восстановление шатунов начинается с контроля наличия изгиба и скручивания на приспособлении. Шатуны, имеющие изгиб или скручивание, подвергаются правке под прессом. После правки шатуны подвергаются повторному контролю на приспособлении. Контроль осуществляется по эталонному шатуну. Эталонный шатун устанавливается в приспособление, и все индикаторы выставляются на «0». После этого эталонный шатун снимается и на его место помещается испытуемый. По отклонению стрелок на индикаторах определяются изгиб или скручивание шатуна. Восстановление постелей нижней головки шатунов производится осталиванием в проточном электролите на специальной установке.

Втулки верхней головки шатуна заменяются новыми. Удаление фигурной втулки верхней головки шатуна производится на расточном станке. Вместо удаленной втулки специальным приспособлением на прессе запрессовывается новая фигурная втулка. Расточка отверстий во втулке верхней головки после ее запрессовки и постели нижней головки шатуна после осталивания производится одновременно на специальном двухшпindelном расточном станке. При этом между осями верхней и нижней головок шатуна обеспечивается межосевое расстояние  $225 \pm 0,03$  мм в соответствии с техническими условиями.

**Проектный расчёт усилия изгиба:** Рассмотрим схему работы приспособления с шатуном, подвергающимся изгибу:

Предположим, что плоская система произвольно расположенных сил загружена усилием резьбовой пары – болт (11) – гайка (5).

В этом случае реакции опор:

В опоре А (болт зажима): 
$$R_a = \frac{3 * P * a}{2 * l} \tag{1}$$

В опоре В (силовой упор): 
$$B = \frac{P * (2 * l + 3 * a)}{2 * l} \tag{2}$$

Реактивный момент на болте зажима: 
$$M_A = \frac{P * a}{2} \tag{3}$$

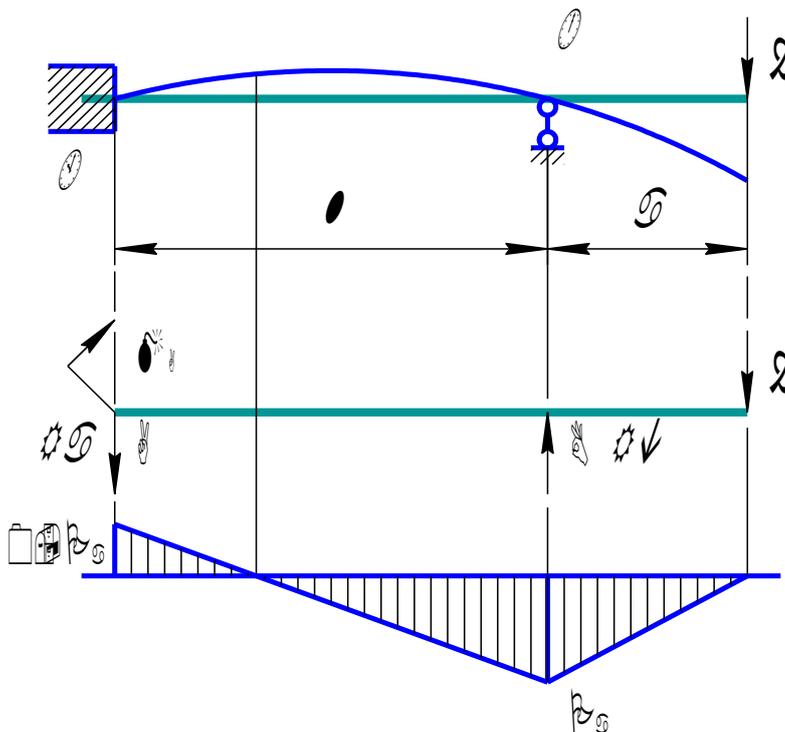


Рисунок 2. Схема работы приспособления с шатуном, подвергающимся изгибу

Наибольший изгибающий момент: 
$$M_{X_{max}} = P * a$$

(4)

Отсюда можем определить значение рабочего усилия:

$$P = \frac{M_{X \max}}{a}$$

(5)

Условие прочности балки на прямой поперечный изгиб имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{X \max}}{W_X} \leq [\sigma]$$

(6)

где  $W_X$  – осевое сопротивление сечения шатуна. Принимаем для наибольшего поперечного сечения (двигатель КамАЗа)

$$W_X \approx 25 \text{ см}^3 = 25 * 10^3 \text{ мм}^3.$$

Подставив в формулу значение предела текучести стали 40ХН2МА  $\sigma_T = 460$  МПа.

Определим значение изгибающего момента, обеспечивающего пластичный изгиб шатуна:

$$M_{X \max} = \sigma_T * W_X = 460 * 25 * 10^3 = 11,5 * 10^6 \text{ Н} * \text{мм}.$$

При межосевом расстоянии 135 мм: 
$$P = \frac{11,5 * 10^6}{135} = 85,185 * 10^3 \text{ Н}.$$

Определяем расчётный диаметр силовой резьбы болта: 
$$d = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi * [\sigma_P]}}$$

(7)

где  $[\sigma_P]$  – допустимое напряжение растяжения.

Силовой болт изготовлен из стали марки 45. Для динамической нагрузки

$[\sigma_P] = 240$  МПа. тогда 
$$d = \sqrt{\frac{4 * 85,185 * 10^3}{3,14 * 240}} = 21,258 \text{ мм}.$$

Выбираем резьбу М20.

**Силовой расчёт элементов приспособления:** Расчёт болта зажима на смятие и срез: Исходные данные: 1. Материал для изготовления болтов – сталь 45.

2. Допустимые напряжения для стали 45: на срез –  $[\tau] = 95$  МПа; на смятие –  $[\sigma] = 210$  МПа. 3. На силовом болте использована резьба М16. 3. Рабочая длина болта 75 мм.

Условие прочности на смятие: 
$$\sigma_{CM} = \frac{P}{d * \delta_{\min}} < [\sigma_{CM}]$$

(8)

где  $d$  – диаметр болта, мм.  $d = 16$  мм;  $\delta_{\min}$  – наименьшая толщина соединяемых деталей, мм.  $\delta_{\min} = 38$  мм. (ширина шатуна).

$$\sigma_{CM} = \frac{85,185 * 10^3}{16 * 38} = 140,107 \text{ МПа}.$$

Допустимое напряжение смятия для стали 45 –  $[\sigma_{CM}] = 210$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на смятие соблюдается.

Условие прочности на срез: 
$$\tau_{CP} = \frac{4 * P}{\pi * d^2 * i} < [\tau_{CP}]$$
 (9)

где P – рабочая нагрузка на болт, равняется реакции Ra опоры A (болта зажима), кН; d – диаметр не нарезанной части болта, мм. d=16 мм; i – число плоскостей среза. i = 2.

$$R_a = \frac{3 * 85,185 * 10^3 * 40}{2 * 135} = 37,86 \text{ кН}; \quad \tau_{CP} = \frac{4 * 37,86 * 10^3}{3,14 * 16^2 * 2} = 94,15 \text{ МПа}.$$

Допустимое напряжение среза для стали 45 –  $[\tau_{cp}] = 95$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на срез соблюдается.

Расчёт резьбы болта (поз. 11) на смятие и срез

Исходные данные: 1. Материал для изготовления болтов – сталь 45.

2. Допустимые напряжения для стали 45: на срез –  $[\tau] = 95$  МПа; на смятие –  $[\sigma] = 210$  МПа. 3. На силовом болте использована резьба М20 с параметрами: средний диаметр  $d_2 = 18,376$  мм; внутренний диаметр  $d_1 = 17,294$  мм; шаг резьбы  $p = 2,5$  мм; высота профиля резьбы  $h = 1,353$  мм; высота резьбового участка гайки  $H = 30$  мм. 3. Общую рабочую нагрузку принимаем 400 Н.

Расчёт резьбы на смятие производим по формуле: 
$$\sigma_{CM} = \frac{Q}{F_{CM}} \leq [\sigma_{CM}]$$
 (10)

где Q – действующая нагрузка. Q=400 Н;  $F_{CM}$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>.

$$F_{CM} = \pi * d_2 * h * z_B$$
 (11)

где  $z_B$  – число полных витков резьбы, находящихся в зацеплении.

При высоте гайки  $H_1 = 30$  мм: 
$$z_B = \frac{H_1}{p}$$
 (12)

$$z_B = \frac{30}{2,5} = 12; \quad F_{CM} = 3,14 * 18,376 * 1,353 * 12 = 937,303 \text{ мм}^2.$$

$$\sigma_{CM} = \frac{400}{937,303} = 0,427 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение смятия для стали 45 –  $[\sigma_{cm}] = 210$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на смятие соблюдается.

Расчёт резьбового соединения на срез производим по формуле:

$$\tau_{CP} = \frac{Q}{F_{CP}} \leq [\tau_{CP}]$$
 (13)

где  $F_{cp}$  – площадь среза резьбы, мм<sup>2</sup>.

$$F_{CP} = \pi * d * k * h$$
 (14)

где  $d$  – номинальный диаметр резьбы, мм.  $d = 20$  мм;  $k$  – коэффициент, учитывающий тип резьбы. Для метрической резьбы  $k = 0,88$ .

$$F_{CP} = 3,14 * 20 * 0,88 * 1,353 = 74,81 \text{ мм}^2 \text{.} \quad \tau_{CP} = \frac{400}{74,81} = 5,347 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение среза для стали 45 –  $[\tau_{CP}] = 95$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на срез соблюдается.

*Расчёт резьбы винтов упора (поз. 8) на смятие и срез*

Резьбовые поверхности винтов упора подвергаются нагрузкам перпендикулярным опорной площадке и параллельным силовому винту. Так как на упоре два винта силовой расчёт для каждого производим на половину общей нагрузки.

Исходные данные: 1. Материал для изготовления болтов – сталь 45. 2. Допустимые напряжения для стали 45: на срез –  $[\tau] = 95$  МПа; на смятие –  $[\sigma] = 210$  МПа. 3. На винтах упоров использована резьба М12 с параметрами: средний диаметр  $d_2 = 10,863$  мм; внутренний диаметр  $d_1 = 10,106$  мм; шаг резьбы  $p = 1,75$  мм; высота профиля резьбы  $h = 0,947$  мм; высота внутреннего резьбового участка упора  $H_2 = 10$  мм. 3. Общую рабочую нагрузку принимаем 400 Н, тогда на один винт упора приходится 200 Н.

Число полных витков резьбы, находящихся в зацеплении при высоте упора  $H = 25$  мм:

$$z_B = \frac{25}{1,75} = 14,285; \quad \text{Принимаем } z_B = 14$$

$$F_{CM} = 3,14 * 10,863 * 0,947 * 14 = 452,457 \text{ мм}^2 \text{.} \quad \sigma_{CM} = \frac{200}{452,457} = 0,442 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение смятия для стали 45 –  $[\sigma_{CM}] = 210$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на смятие соблюдается.

*Расчёт резьбового соединения на срез:* При номинальном диаметре резьбы  $d = 12$  мм площадь среза резьбы:

$$F_{CP} = 3,14 * 12 * 0,88 * 0,947 = 31,417 \text{ мм}^2 \text{.} \quad \tau_{CP} = \frac{200}{31,417} = 6,366 \text{ МПа}$$

Допустимое напряжение среза для стали 45 –  $[\tau_{CP}] = 95$  МПа, что значительно больше расчётного значения. Условие прочности на срез соблюдается.

До начала ремонтных работ по восстановлению геометрических параметров с шатуна, необходимо очистить шатун в передвижной моечной ванне типа ОМ-1316 с использованием моющего средства МС-37. Провести дефектацию и контроль основных параметров шатуна на изгиб и скручивание стержня, износ головок шатуна. Затем произвести слесарную правку стержня шатуна на спроектированном приспособлении. Для упрочнения проводится нормализация в печи СТЗ-6.35.4/7, при необходимости провести расточные работы по точению отверстий в головках шатуна на станке УРБ-ВП-М. После проводится хонинговальная обработка верхней и нижней головки на станке ЗГ-833. Проводим контроль восстановленных параметров шатуна.

Вывод.

Ремонтное приспособление позволяет полностью восстановить стержень шатуна в требуемых параметрах. Прост и экономический не дорог в изготовлении, что позволит предприятию получать

дополнительную прибыль, через оказание услуг в ремонте шатунов и другим предприятиям. Восстановленные таким методом шатуны отвечают всем техническим требованиям предъявляемым к шатунам двигателей внутреннего сгорания.

#### Библиографический список

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. т.1. – М.: Машиностроение, 1979.
2. Ерохин М.Н. Детали машин и основы конструирования. – М.: КолосС, 2004.
3. Семёнов В.М. Нестандартный инструмент для разборочно- сборочных работ. – М.: Агропромиздат, 1985
4. Тойгамбаев С.К. Повышение долговечности деталей сельскохозяйственных и мелиоративных машин при применении процесса термоциклической диффузионной металлизации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Москва. 2000г.
5. Шнырёв А.П., Тойгамбаев С.К. Основы надёжности транспортных и технологических машин. Учебное пособие для студ. технич. ВУЗов УМО МГУП. Издательская. «Компания Спутник +» 2006, г. Москва. с.102.
6. Тойгамбаев С.К. Испытания двигателей на специальных стендах. ж. Актуальные проблемы современной науки № 5, (84) 2015. г. Москва. с. 163-167.
7. Тойгамбаев С.К. Повышение надёжности изготовления резьбовых соединений. ж. Вестник. Агроинженерия. Московский государственный агроинженерный университет им.В.П. Горячкина. № 3 (59) 2013. г. Москва. с. 45- 46.
8. Тойгамбаев С.К. Применение термодиффузионных процессов для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники. Монография, Рекомендован УМО ВУЗов МГУП. Редакционно-издательский. Отд. МГУП, 2011. г. Москва. с. 156.
9. Тойгамбаев С.К. Стенд для обкатки и испытания двигателей. ж. Актуальные проблемы современной науки № 5 (79) 2014. г. Москва. с. 146 -149.