Триботехнические расчетные величины уточнены в следующем порядке: сила трения на 21 %, несущая способность – 14%.

1. Кропачев Д.Ю., Гришин А.А., Масло А.Д. Способы оперативного измерения температуры расплава металлов для нужд машиностроительных предприятий // *Литье и металлургия*. 2012. № 3(66). С. 126–127.
2. Перельман В.И. Краткий справочник химика М.-Л. : Химия, 1964.
3. Бирюков В.П., Татаркин Д.Ю., Хриптович Е.В., Фишков А.А. Определение влияния режимов лазерной наплавки и состава порошковых материалов на износостойкость покрытий // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2017. № 1. С. 63–66.
4. Шаповалов В.В. Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов // *Трение и смазка в машинах и механизмах* – 2009. – № 5, С. 49–57.
5. Щербак П.Н.. Многофазовые смазки РАПС и способы их нанесения / П.Н. Щербак, В.В. Шаповалов // *Вестник машиностроения* – 2002. – № 4, С. 45–46.
6. Озябкин А.Л. Динамический мониторинг триботермодинамики фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // *Вестник донского государственного технического университета* – 2011. – Т.11. - № 5(56), С. 644–654.
7. Calculation Model of the Radial Bearing, Caused by the Melt, Taking into Account the Dependence of Viscosity on Pressure / V.V. Vasilenko, E.O. Lagunova, M.A. Mukutadze, V.M. Prikhodko // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – No. 19. – P. 9138 – 9148.
8. Расчетная модель клиновидной опоры скольжения, работающей на смазочном материале с расплавом / К.С. Ахвердиев, М.А. Мукутадзе, Е.О. Лагунова, Василенко В.В. // *Трение и износ. – Гомель : ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», 2018. – Т. 39, № 1. – С. 62–71.*
9. Мукутадзе, М.А. Разработка расчетной модели гидродинамического смазочного материала, образующегося при плавлении подпятника, при наличии принудительной смазки / М.А. Мукутадзе, Е.О. Лагунова, В.В. Василенко // *Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2018. – № 3, С. 76–83.*
10. Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculated model of wedge-shaped sliding supports in turbulent friction regime // *Advances in Engineering Research (AER), volume 157 International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" (AIME 2018)*. P. 346–353.
11. Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculated model of wedge-shaped sliding supports taking into account rheological properties of viscoelastic lubricant // *Advances in Engineering Research, volume 158, International Conference on AviaMechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018)*. P. 246–253.
12. Lagunova E.O., M.A. Mukutadze. Radial Friction Bearings Conditioned by Melt // *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering (ICIE 2018)*. P. 897 – 910.

Тойгамбаев С.К.

Технология восстановления гильз цилиндров двигателя КамАЗ-740 способом направленной термомеханической деформацией

*Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева
(Россия, Москва)*

doi 10.18411/gq-31-07-2019-22

idsp sciencerussia-31-07-2019-22

Аннотация

В статье представлен технологический процесс хонингования гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Даны рекомендации по режимам и оборудованию при выполнении ремонтных работ.

Ключевые слова: деформация; термомеханический; хонингование; двигатель.

Abstract

The article presents the technological process of honing cylinder liners of internal combustion engines. Recommendations on re-presses and equipment during repair works are given.

Key words: deformation; thermomechanical; honing; engine.

Сущность процесса обжата при восстановлении гильз цилиндров термопластической деформацией (ТПД). При ТПД гильза быстро нагревается индуктором токами высокой частоты (ТВЧ) и охлаждается водой через спрейер непрерывно-последовательным способом по всей длине и имеет относительно индуктора вертикальное и вращательное движение. Сущность ТПД 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, как с фазовыми превращениями, так и без них, с использованием и без использования внешних механических воздействий (табл. 1).

Таблица 1

Режимы ТПД с одновременной закалкой

№	Наименование операции	Ед. изм.	Режимы
1	температура предварительного нагрева	С ⁰	730...750
2	температура закалки	С ⁰	820...860
3	скорость нагрева (предварительного),	град/с	70
4	скорость нагрева при закалке,	град/с	50
5	скорость относительного перемещения гильзы и индуктора (предварительный нагрев),	м/мин.	0,12
6	скорость относительного перемещения гильз и индуктора в режиме закалки,	м/мин.	0.16
7	частота вращения гильзы,	об/мин.	24...28
8	расход охлаждающей воды на вращение и охлаждение матрицы,	л/мин.	70
9	расход охлаждающей воды через закалочный спрейер	л/мин.	15
10	ток анода (ТВЧ 100 кВт, 0,066 кГц),	А	13
11	ток сетки,	А	2,8
12	напряжение анода,	кВ	11,5
13	напряжение контура,	кВ	7,0

Данные режимы обеспечивают усадку и закалку внутренней поверхности гильзы цилиндра в пределах 0,5...1,2 мм с овальностью и конусностью, не превышающими исходных значений изношенной гильзы.

Сущность восстановления посадочных поясков электродуговой металлизацией. Сущность электродуговой металлизации заключается в нанесении на поверхность посадочных поясков жидкого металла, расплавленного электрической дугой между двумя проволоками с помощью струи сжатого воздуха.

Электродуговая металлизация, как процесс, имеет высокую производительность, дает незначительное тепловложение в гильзу (температура нагрева гильзы не более 100⁰ С), отсутствует деформация детали, простота и технологичность процесса позволяют получить низкую удельную себестоимость нанесения покрытия. Прочность сцепления металлизационного покрытия с основным металлом гильзы достаточна для условий работы гильзы и обладает повышенной антикоррозионной стойкостью. Поверхность поясков гильзы перед металлизацией подвергается очистке от масла и окислов до матового блеска в специальной пескоструйной камере.

Таблица 2.

Струйно-корундовая обработка производится на следующих режимах

№	Наименование операции	Ед. изм.	Режимы
1	давление сжатого воздуха,	МПа	- 0.5...0,7
2	расстояние от сопла до детали,	мм	- 80...100
3	время обработки,	Сек.	- 60...80
4	зернистость электрокорунда,	мкм	- 100...150.

Металлизация поясков осуществляется на токарном станке любой марки. Гильза закрепляется в патроне на специальной гидропластовой оправке. Металлизатор устанавливается на суппорте станка с помощью специального колебателя. Колебания осуществляются оператором вручную. Механическая обработка внутренней поверхности гильзы. В ремонтной практике, в зависимости от наличия оборудования и оснастки.

Технологический процесс восстановления гильз цилиндров КамАЗ-740 способом термопластического деформирования в матрице.

005 Очистка:

1. Очистить гильзы цилиндров от асфальтосмолистых загрязнений в водном растворе моющего средства МС-37 концентрацией 10...15 г/л.

Режим:

- температура раствора 60...70° С;
- число двойных ходов платформы в минуту – 120;
- амплитуда колебаний 50...200 мм;
- продолжительность -30 мин;
- количество одновременно очищаемых гильз–10.

Оборудование: машина моечная ОМ-4267.

Примечание: на поверхностях гильз цилиндров наличие масел, асфальтосмолистых отложений, следов коррозии и других загрязнений не допускается.

010 Дефектация:

1. Измерить диаметр внутренней поверхности гильзы цилиндров. Номинальный диаметр -120 мм, допускаемый-120,18 мм. Оборудование: верстак ОРГ-1468-01-060А; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82.

2. Измерить диаметр поверхности верхнего посадочного пояса. Номинальный диаметр – 142 мм, допускаемый – 141,86 мм. Оборудование: штангенциркуль двухсторонний ШЦ-П-200-0,05 ГОСТ166-80.

3. Измерить диаметр поверхности нижнего посадочного пояса. Номинальный диаметр – 133 мм, допускаемый – 132,86 мм. Оборудование: штангенциркуль двухсторонний ШЦ-П-200-0,05 ГОСТ 166-80

4. Измерить высоту опорного бурта. Номинальный размер - 10,32^{+0,03} мм, допускаемый – 10,2 мм. Оборудование: микрометр МК-25-1 ГОСТ 6507-78.

5. Проверить гильзу цилиндров на наличие трещин. Оборудование: дефектоскоп магнитный МД-50 П.

Примечание: восстановлению не подлежат гильзы, имеющие следующие дефекты:

- трещины и обломы любого характера;
- кавитационно-коррозионные разрушения любого характера;
- забоины, вмятины на посадочных поясах и опорном бурте;
- диаметральный износ внутренней поверхности более 0,5 мм.

015 Токарная:

1. Точить поверхность, выдерживая размеры. 1,2,3,4.

Рис. 1. Дефектация гильз цилиндров

Режимы глубины:

- резания 0.02 мм;
- подача 0,1 мм/об;
- частота вращения шпинделя станка 250 мин-1;
- скорость резания 102 м/мин.

Оборудование: станок токарно-винторезный 1К62, резец проходной упорный (правый) 2103-0021-ВК8 ГОСТ 18879-73; штангенциркуль двухсторонний ШЦ-П-200-0,05 ГОСТ 166-80.

Примечание: шероховатость наружной поверхности гильз не более $Ra=10$ мкм; на обработанной поверхности допускаются не более пяти одиночно расположенных газовых раковин размером до 2 мм и глубиной не более 1 мм.

020 Термическая:

1. Установить и закрепить в матрицу гильзу цилиндров.
- Включить цикл и обжать гильзу в размеры 1,2

Рис. 2. Термическая обработка гильз цилиндра

Режим

- сила анодного тока 12А;
- сила сетчатого тока 2,5-3А;

- напряжение анода 11...13 кВт;
- напряжение контура 7 кВт;
- температура нагрева гильз 800...650С0 ;
- скорость подачи гильзы 1,8...2,3 мм/с;
- частота вращения 25 мин -1
- время нагрева 2 мин;
- охлаждающая среда – вода (температура не более 260С).

Оборудование: установка термопластического обжатия гильз 11.24.0537; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82; штангенциркуль двухсторонний ШЦ-П-200-0,05 ГОСТ 166-80. **Примечание:** допуск овальности и конусности внутренней поверхности гильз не более 0,1 мм; твердость внутренней поверхности гильз НВ 217...255; трещины, закалочные и другие структурные изменения не допускаются.

025 Пескоструйная:

1. Создать на нижнем и верхнем посадочных поясах шероховатой поверхности. Режим:

- давление воздуха 0,5...0,6 МПа;
- угол наклона струи абразива к поверхности 45...70°;
- расстояние от сопла до поверхности 20...40 мм;
- расход воздуха 4...6 м³/мин;
- производительность 40...60 см/мин.

Оборудование: камера струйно-корундовой обработки 026-7,00.000.

Примечание: поверхности должны быть матовыми.

030 Слесарная:

1. Закрыть защитными кожухами (экранами) невосстанавливаемые поверхности гильзы цилиндров.

035 Металлизация:

1. Выполнить металлизацию пояска в размеры 1,2;
2. Выполнить металлизацию пояска в размер 3;
3. Выполнить металлизацию бурта в размеры 4,5,6;

Рис. 3. Металлизация гильз цилиндра

Режим:

- сила тока 250А;
- напряжение дуги 30В;
- амплитуда вибратора 20...40 мм;
- частота колебаний вибратора 0,06...0,04 с⁻¹ ;
- давление сжатого воздуха 0,5...0,6 МПа;
- скорость подачи проволоки 4,7 м/мин;

- глубина резания 0,11 мм, подача 0,05 мм/об,
- скорость резания 319 м/мин.

Оборудование: алмазно-расточной станок 2Е 78 ПН. *Примечание:* овальность и конусообразность внутренней поверхности гильзы 0,01...0,03 мм, шероховатость $R_a = 0,32 \dots 0,63$ мкм.

055 Шлифовальная.

1. Шлифовать поверхности верхнего и нижнего посадочных поясков гильзы соответственно в размеры 1,2,3.

Рис. 6 Шлифовка гильз цилиндра

Режим:

- глубина резания 0,0026 мм/об;
- величина подачи 0,2 мм/мин;
- число проходов 1;
- частота вращения гильзы цилиндров 76 мин⁻¹;
- скорость резания 35 м/с.

Оборудование: станок круглошлифовальный 3Б161; круг шлифовальный ПП600х63х305 53с40с1К5; алмазный карандаш 3908-00591 ГОСТ 607-75; микрометр МК-150-1 ГОСТ 6507-78. *Примечание:* допуск цилиндричности посадочных поясков не более 0,05 мм; радиальное биение поверхности посадочных поясков относительно оси внутренней поверхности гильз не более 0,08 мм; допуск неплоскостности поверхностей верхнего и нижнего торцов бурта соответственно не более 0,03 и 0,02 мм; шероховатость поверхностей посадочных поясков не более $R_a = 2,5$ мкм.

060, 065, 070 Хонинговальная операция

Хонингование представляет процесс отделочной обработки цилиндрических отверстий при помощи мелкозернистых абразивных брусков, совершающих вращательное и возвратно-поступательное движение вместе с хоном. Хонингование ведется при обильной подаче смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания, состоящей из 80...90% керосина и 10...20% индустриального масла. Применение смазочно-охлаждающей жидкости обеспечивает снижение температуры в зоне резания и удаление частиц абразивных зерен и продуктов износа с поверхности брусков и с обрабатываемой поверхности. Хонингование ведется в три приема: черновое, получистовое и чистовое.

060 Хонинговальная: провести черновое хонингование внутренней поверхности гильзы в размер 1.

Резюме:

- припуск (глубина резания) 0,05 мм;
- подача 18 м/мин; число двойных ходов в мин. 59;
- частота вращения головки хона 230 мин⁻¹;
- скорость резания 79 м/мин; удельное давление брусков 1,2 МПа.

Оборудование: станок вертикально-хонинговальный 3К83У; головка хонинговальная 11333-02-000; алмазные бруски АСБ 125/100.100М1; штангенциркуль ШЦ-II-200-0,05 ГОСТ 166-80; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82; охлаждающая жидкость – Аквол-11.

Рис. 7. Хонингование гильз цилиндра

Примечание: шероховатость внутренней поверхности гильзы не более $R_a = 5 \dots 12,5 \mu\text{м}$; допуск цилиндричности гильз не более 0,04 мм.

065 Хонинговальная: Провести получистовое хонингование внутренней поверхности в размер 1

Режим: припуск (глубина резания) 0,04 мм; подача 5...10 м/мин; число двойных ходов в мин. 50; частота вращения головки хона 160 мин^{-1} ; скорость резания 55 м/мин; удельное давление брусков 0,7 МПа.

Оборудование: станок вертикально-хонинговальный 3К83У; головка хонинговальная 11333-02-000; алмазные бруски АСБ 125/100-100М1; штангенциркуль ШЦ-II-200-0,05 ГОСТ 166-80; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82.

Примечание: шероховатость внутренней поверхности гильзы не более $R_a = 1,25 \mu\text{м}$; допуск цилиндричности гильз не более 0,03 мм; на длине 30 мм от нижнего торца гильзы допуск цилиндричности внутренней поверхности

Рис. 8. Хонингование гильз цилиндра

не более 0,04 мм; на длине 9 мм и 15 мм соответственно от нижнего и верхнего торца гильзы цилиндров допуска цилиндричности внутренней поверхности не более 0,05 мм.

070 Хонинговальная:

1. Провести чистовое хонингование внутренней поверхности в размер 1.

Рис. 9. Хонингование гильз цилиндра

Режим:

- припуск (глубина резания) 0,03 мм;
- число двойных ходов в мин. 41;
- частота вращения головки хона 130 мин⁻¹;
- скорости резания 45 м/мин;
- удельное давление брусков 0,5 МПа.

Оборудование: станок вертикально-хонинговальный 3К83У; головка хонинговальная 11333-02-000; алмазные бруски АСМ 28/20.100.100М1, штангенциркуль ЩЦ-II-200-0,05 ГОСТ 166-80; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82. *Примечание:* допуск цилиндричности внутренней поверхности гильз не более 0,03 мм; допуск цилиндричности внутренней поверхности гильз на длине 30 мм от нижнего торца не более 0,04 мм; допуск цилиндричности внутренней поверхности гильз цилиндров на длине 15 мм от верхнего и нижнего торца не более 0,05 мм; шероховатость внутренней поверхности гильз не более $R_a = 0,8$ мкм.

075 Очистная.

1. Обезжирить гильзы цилиндров в водном растворе едкого натра, трината фосфора и жидкого стекла.

Режим: температура раствора 60...70⁰С; продолжительность 8 мин.

Оборудование: машина моечная ОМ-5287

080 *Финишная обработка:* провести финишную безабразивную обработку внутренней поверхности гильз на длине 262 ± 0.7 мм в размер $120^{+0,06}_{+0,04}$ мм, путем нанесения латунно-медного антифрикционного покрытия.

Режим:

- число двойных ходов головки в мин. 25...30;
- скорость вращения шпинделя 150...200 мин⁻¹;
- скорость резанья 47 м/мин;
- удельное давление ролика 0,5...1,0 МПа.

Оборудование: станок вертикально-хонинговальный 3Г833; головка хонинговальная 11333-02-000; штангенциркуль ШЦ-II-200-0,05 ГОСТ 166-80; нутромер индикаторный НИ-160 ГОСТ 868-82; водорастворимый полимер Композит-81.
Примечание: допуск цилиндричности внутренней поверхности гильз не более 0,03мм; допуск круглости на длине 30мм от нижнего торца гильз цилиндров и повышение величины диаметра размерной группы по верхнему предельному отклонению 0,04 и 0,02 мм соответственно; допуск круглости на внутренней поверхности на длине 15 мм

от верхнего и нижнего торцов гильз, повышение величины диаметра размерной группы по верхнему предельному отклонению и шероховатости поверхностей 0,05 и 0,03 мм, $R_a = 1,25$ мкм соответственно; шероховатость внутренней поверхности гильз цилиндров не более $R_a = 0,4$ мкм.

085 Контрольная:

1. Формировать гильзы цилиндров по размерным группам.

Примечание: гильзы цилиндров, входящие в комплект на один дизель, должны быть одной размерной группы.

060, 065, 070 Хонинговальная операция

Расчет режимов хонингования:

– определяем длину абразивных брусков из условия:

$$l_6 = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{3}{4} \right) \cdot l, \quad (1)$$

где l – длина хонингуемого отверстия гильзы цилиндров, мм

$$l_6 = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{3}{4} \right) \cdot 245 = 82 \dots 184 \text{ мм}$$

Принимаем длину брусков $l_6 = 125$ мм.

– длину хода доводочной головки рассчитываем по формуле:

$$L_x = l + 2l_2 - l_6, \quad (2)$$

где l_2 – перебег брусков (выход за торцевую поверхность гильзы цилиндров), мм
($l_2 = 20 \dots 30$ мм).

$$L_x = 245 + 2 \cdot 25 - 125 = 170 \text{ мм}$$

– число двойных ходов хонинговальной головки определяем по формуле:

$$n_{\text{двх}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{вп}}}{2L_x}, \quad (3)$$

где $V_{\text{вп}}$ – скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки, м/мин.

Возвратно-поступательная скорость при хонинговании выбирается в зависимости от материала и твердости обрабатываемой детали, материала хонинговальных брусков по справочной литературе. Принимаем $V_{\text{вп}}$ (черновая) = 20 м/мин, $V_{\text{вп}}$ (получистовая) = 17 м/мин, $V_{\text{вп}}$ (чистовая) = 14 м/мин.

$$N_{\text{дв(черновая)}} = \frac{1000 \cdot 20}{2 \cdot 170} = 59 \text{ двх / мин}; N_{\text{дв(получистовая)}} = \frac{1000 \cdot 17}{2 \cdot 170} = 50 \text{ двх / мин};$$

$$N_{\text{дв(чистовая)}} = \frac{1000 \cdot 14}{2 \cdot 170} = 41 \text{ двх / мин}$$

– окружную скорость вращения хонинговальной головки выбираем по справочной литературе. Принимаем: $V_{\text{вп}}$ (черновая) = 70 м/мин,

$V_{\text{вп}}$ (получистовая) = 55 м/мин, $V_{\text{вп}}$ (чистовая) = 45 м/мин.

По выбранной окружной скорости определяем частоту вращения хонинговальной головки:

$$n_x = \frac{1000 \cdot V_{\text{вр}}}{\pi \cdot D}, \quad (4)$$

где D – диаметр обрабатываемого отверстия гильзы цилиндров, мм.

$$n_{x(\text{черновая})} = \frac{1000 \cdot 70}{3,14 \cdot 109,8} = 203 \text{ мин}^{-1}; n_{x(\text{получистовая})} = \frac{1000 \cdot 55}{3,14 \cdot 109,92} = 159 \text{ мин}^{-1}$$

$$n_{x(\text{чистовая})} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 110} = 130 \text{ мин}^{-1}$$

Уточняем полученное количество оборотов с учетом паспортных данных станка: $n_{\text{чер}} = 230 \text{ мин}^{-1}$; $n_{\text{получистовая}} = 160 \text{ мин}^{-1}$; $n_{\text{чистовая}} = 130 \text{ мин}^{-1}$

Уточняем окружную скорость вращения хонинговальной головки по формуле:

$$V_{\text{вр}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_x}{1000}, \quad (5)$$

$$V_{\text{чер}} = \frac{3,14 \cdot 109,8 \cdot 230}{1000} = 79 \text{ м / мин}; V_{\text{пол}} = \frac{3,14 \cdot 109,92 \cdot 160}{1000} = 55 \text{ м / мин}$$

$$V_{\text{чист}} = \frac{3,14 \cdot 110 \cdot 130}{1000} = 45 \text{ м / мин}$$

– по справочной литературе принимаем нормативное удельное давление брусков: $P_{\text{чер}}=1,2 \text{ МПа}$; $P_{\text{пол}}=0,7 \text{ МПа}$; $P_{\text{чист}}=0,5 \text{ МПа}$.

Определяем штучно - калькуляционное время по формуле:

$$T_{\text{шк}} = T_o + T_{\text{в}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{от}} \quad (6)$$

где T_o - основное время, в течение которого изменяется геометрическая форма детали, мин; $T_{\text{в}}$ - вспомогательное время, которое затрачивает рабочий на установку и снятие деталей, управление станком, измерение обрабатываемого изделия, мин; $T_{\text{обс}}$ - время на обслуживание рабочего места, мин;

$T_{\text{от}}$ - время на отдых и личные надобности, мин;

Основное время при хонинговании определяем по следующей формуле:

$$T_o = \frac{t}{n_{\text{дв.х.}}} * S_p \quad (7)$$

где t - припуск на хонингование, мм (0,03.. 0,05); S_p - радиальная подача на один двойной ход хонинговальной головки, мм (0,001.. 0,002)

$$T_{o, \text{чер}} = \frac{0,05}{59 \cdot 0,002} = 0,42 \text{ мин}; T_{o, \text{пол}} = \frac{0,04}{50 \cdot 0,0015} = 0,53 \text{ мин},$$

$$T_{o, \text{чист}} = \frac{0,03}{41 \cdot 0,001} = 0,73 \text{ мин}.$$

Из табличных данных принимаем: $T_{\text{в}} = 3,56 \text{ мин}$, $T_{\text{обс}} = 1,45 \text{ мин}$, $T_{\text{от}} = 1,2 \text{ мин}$.

$$T_{\text{шк}} = 1,68 + 3,56 + 1,45 + 1,2 = 7,89 \text{ мин}$$

Выводы:

Анализ исследований способов восстановления гильз цилиндров показал, что наиболее перспективным и экономически выгодным способом восстановления гильз цилиндров является способ термопластического обжатия в матрице. Значение коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости для этого способа восстановления соответственно равны 0,8...1,0, 1,0 и 1,0. Данный способ имеет существенные преимущества по сравнению с другими: - восстановление гильз до номинальных размеров с обеспечением технических требований чертежей заводов-изготовителей; - структура гильзы и твердость поверхности ее материала остаются без изменений, тем самым сохраняют первоначальные триботехнические условия работы сопряжения; - упрочняются рабочие поверхности, и увеличивается их износостойкость; - ресурс восстановленной гильзы обеспечивается не менее 100% от ресурса новой; - угар масла при эксплуатации двигателя с гильзами, восстановленными термопластическим обжатием, такой же, как с новыми и в 1,3...2 раза меньше чем с гильзами, восстановленными другими способами; - простой и дешевый способ, не требующий дорогих и дефицитных материалов, позволяет получить минимальный припуск на последующую механическую обработку. Это и высокая производительность процесса позволяют обеспечить низкую себестоимость восстановления, которая составляет не более 60% от стоимости детали.

1. Пучин Е.А., Новиков В.С., Очковский Н.А. и др. Технология ремонта ма-шин. – М.: Колос С, 2007. – 488с.
2. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М.. Восстановление деталей машин. Справочник под редакцией д.т.н., проф. В.П. Иванова. – М.: «Машиностроение», 2003. – 672 с.

3. Новиков В.С., Очковский Н.А.. Проектирование технологических процессов восстановления изношенных деталей. Методические рекомендации по курсовому проектированию. – М.: МГАУ, 2003. – 52 с.
 4. Тойгамбаев С.К. « Применение инструментальных материалов при резании металлов ». Учебник для ВУЗов. М.: Ред. Изд. Отдел МГУП, 2007 -206с.
 5. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Голиницкий П.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Учебник для ВУЗов. М.: Изд. Спутник+, 2017–375с.
 6. Тойгамбаев С.К., Голиницкий П.В. Измерение и контроль деталей транспортных и транспортно-технологических комплексов. Учебное пособие. М.: Изд. Спутник +, 2018. – 153с.
-