

УДК 621.436.004.67

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ НА ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

В. П. ИВАНОВ, А. П. КАСТРЮК

Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь

Введение

В ряде работ ([1], [2] и др.), посвященных изучению влияния точности геометрических параметров деталей на долговечность агрегатов, установлено, что с увеличением этой точности послеремонтная наработка растет. Вместе с тем требования к точности восстановленных деталей уступают соответствующим требованиям к деталям при их изготовлении, при этом приводятся рекомендации о расширении допусков на геометрические параметры восстанавливаемых деталей и обоснование этих рекомендаций.

Качество ремонта машин может быть укрупненно оценено долей тех параметров, которые выдерживаются в нормативных пределах. Практика ремонта показывает [3], что в количественном выражении при восстановлении деталей обеспечивается меньше половины приведенных показателей. Эксплуатационные показатели (показатели назначения) отремонтированных агрегатов (развиваемая мощность, скорость перемещения звеньев, давление и расход сред и др.) соответствуют нормативам, однако эксплуатационный темп их изменения в худшую сторону превышает соответствующий темп изменения в агрегатах, введенных в эксплуатацию после их первичного изготовления.

Научный интерес представляет обоснование требований, при которых обеспечивается нормативная послеремонтная наработка агрегатов. Эти требования должны быть приняты в качестве ограничений при технологической подготовке ремонтного производства.

Цель работы заключалась в обосновании условий достижения нормативного ресурса двигателей, прошедших капитальный ремонт.

Методика выполнения работы

Для изучения послеремонтной наработки двигателей в зависимости от точности основных геометрических параметров деталей и соединений, которые определяют качество ремонта изделий, был проведен трудоемкий промышленный эксперимент в условиях ОАО Полоцкий завод «Проммашремонт». Содержание этого эксперимента следующее. Были выделены основные параметры, которые в наибольшей мере влияют на долговечность (послеремонтную наработку) отремонтированных двигателей ЗМЗ-53-11. В качестве этих параметров были выбраны следующие:

- несоосность средней коренной опоры блока цилиндров относительно крайних опор (x_1), мм;
- несоосность средней коренной шейки коленчатого вала относительно крайних шеек (x_2), мм;
- зазор в коренных подшипниках коленчатого вала (x_3), мм;
- зазор в шатунных подшипниках коленчатого вала (x_4), мм;
- зазор между гильзой и поршнем (x_5), мм;
- нецилиндричность трущейся поверхности гильзы цилиндра (x_6), мм;
- непараллельность осей отверстий шатуна (x_7), мм/100 мм;
- перпендикулярность осей юбки поршня и отверстия под поршневой палец (x_8), мм/100 мм.

Работы выполнялись без вмешательства в технологические процессы и организацию восстановления деталей и сборки двигателей. Параметры x_1 , x_2 и x_6 измерялись на соответствующих деталях. Остальные параметры в виде замыкающих размеров соединений рассчитывались после измерения соответствующих размеров деталей, входящих в соединения, образующиеся при сборке двигателей (табл. 1).

Таблица 1

Геометрические параметры двигателя, определяющие его долговечность

Параметры				Средства измерения
Обозначение	Наименование	Размерность	Пределы изменения	
x_1	Несоосность коренных опор блока цилиндров	мм	0,01–0,06	Индикаторная скалка
x_2	Несоосность коренных шеек коленчатого вала	мм	0,01–0,05	Контрольный стенд с микрометром на штативе
x_3	Зазор в коренных подшипниках коленчатого вала	мм	0,02–0,07	Нутромер, микрометры
x_4	Зазор в шатунных подшипниках коленчатого вала	мм	0,02–0,07	Нутромер, микрометры
x_5	Зазор между гильзой и поршнем	мм	0,01–0,07	Нутромер, микрометр
x_6	Нецилиндричность трущейся поверхности гильзы цилиндра	мм	0,01–0,04	Нутромер
x_7	Непараллельность осей отверстий шатуна	мм на 100 мм	0,01–0,15	Настольный индикаторный стенд
x_8	Неперпендикулярность осей юбки поршня и отверстия под поршневой палец	мм на 100 мм	0,01–0,10	Настольный индикаторный стенд

Области определения параметров ограничены слева минимальными значениями, установленными нормативной документацией на восстановление деталей, а справа – максимальными значениями, выявленными при их измерении. Большой интерес для исследования представляли случаи, когда значения параметров-аргументов существенно превышали нормативные, например, при выпуске продукции по особым санкциям. Отклонения параметров деталей от нормативных вызваны использованием запасных частей низкого качества, недостаточными возможностями металлорежущего оборудования и применением деталей ремонтного фонда, параметры которых согласно руководству по капитальному ремонту агрегатов уступали параметрам деталей, изготавливаемых на машиностроительных предприятиях.

Детали поступали на рабочие места сборки и устанавливались на двигатели. На каждый из этих двигателей составлялся формуляр, в котором были указаны детали, приведенные в табл. 1, со значениями их размеров. Работниками лаборатории надежности были налажены отношения с хозяйствами, в которых эксплуатировались двигатели, а по каждому двигателю были получены сведения о его наработке до предельного состояния. Были получены сведения по 45 двигателям.

Рассмотрение корреляционных полей зависимости послеремонтной наработки двигателей L от точности основных геометрических параметров деталей и соединений показало, что она существенно отличается от линейной. Между указанными величинами была принята степенная форма связи, которая содержит признаки линейной, параболической, гиперболической, показательной и других функций, в виде

$$L = Ax_1^{a_1} x_2^{a_2} x_3^{a_3} x_4^{a_4} x_5^{a_5} x_6^{a_6} x_7^{a_7} x_8^{a_8} . \tag{1}$$

Методика расчета значений показателей степеней и статистического анализа зависимости приведена в [4].

Результаты работы

После логарифмирования зависимости и расчета значений коэффициентов регрессии получили зависимость послеремонтной наработки двигателей от точности основных геометрических параметров деталей и соединений:

$$L = 0,052x_1^{-0,541} x_2^{-0,417} x_3^{-0,732} x_4^{-0,919} x_5^{-0,608} x_6^{-0,340} x_7^{-0,299} x_8^{-0,316}, \text{ тыс. км.} \quad (2)$$

Значимость показателей степеней уравнения (2) определяли путем сопоставления их с доверительным интервалом Δa , значение которого вычисляли по формуле

$$\Delta a = \pm \frac{tS_b}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где t – критерий Стьюдента; S_b – квадратный корень из дисперсии воспроизводимости; n – число опытов, учитываемых для расчета дисперсии воспроизводимости.

Для вычисления S_b учитывались значения функции, полученные при близких значениях аргументов, S_b^2 равно 0,0007263. При $t = 2,571$ (5%-й уровень значимости [4]) и $n = 6$ доверительный интервал $\Delta_b = \pm 0,0284$. Все коэффициенты уравнения регрессии были признаны значимыми.

Проверку соответствия расчетной зависимости опытным данным производили с помощью дисперсионного отношения F :

$$F = \frac{\sum \Delta^2}{S_b^2}, \quad (4)$$

где Δ^2 – дисперсия адекватности.

При $\Delta^2 = 0,022342273$ (36 степени свободы) и $S_b^2 = 0,0007263$ (5 степеней свободы) $F = 30,7$ (табличное значение критерия равно 2,45). Уравнение (2) адекватно описывает результаты экспериментального исследования.

Послеремонтный ресурс исследуемых двигателей изменялся от 38 до 154 тыс. км. Степень влияния факторов при изменении их в пределах шага варьирования (0,01 мм или 0,01 мм на 100 мм длины) на послеремонтную наработку агрегата образует ряд $x_4 \rightarrow x_3 \rightarrow x_5 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_6 \rightarrow x_8 \rightarrow x_7$. Даже при таком небольшом изменении значений факторов в худшую сторону наработка агрегатов существенно снижается. Степень влияния изучаемых факторов (отношение максимальной наработки агрегата к минимальной) при изменении их в пределах области определения на ресурс агрегатов показана в табл. 2.

Таблица 2

Степень влияния изменения геометрических параметров двигателя на его долговечность

Наименование параметров	Степень влияния
Несоосность коренных опор блока цилиндров x_1	2,63
Несоосность коренных шеек коленчатого вала x_2	1,96
Зазор в коренных подшипниках коленчатого вала x_3	2,50
Зазор в шатунных подшипниках коленчатого вала x_4	3,21
Зазор между гильзой и поршнем x_5	3,25

Окончание табл. 2

Наименование параметров	Степень влияния
Нецилиндричность трущейся поверхности гильзы цилиндра x_6	1,83
Непараллельность осей отверстий шатуна x_7	2,25
Неперпендикулярность осей юбки поршня и отверстия под палец x_8	2,07

Последовательность влияния факторов в пределах их изменений на ресурс двигателей с учетом сведений указанной таблицы имеет вид: $x_5 \rightarrow x_4 \rightarrow x_1 \rightarrow x_3 \rightarrow x_7 \rightarrow x_8 \rightarrow x_2 \rightarrow x_6$. Наибольшее влияние на долговечность двигателей оказывает начальный зазор между гильзой и поршнем и наименьшее влияние – расположение осей поршня и цилиндра как результат непараллельности осей отверстий шатуна и неперпендикулярности осей юбки поршня и отверстия под поршневой палец. Утверждения, приведенные в ряде исследований, о том, что существуют оптимальные значения параметров, отличные от минимальных и определяющие лучшие значения показателей качества, оказались неравномерными. Наблюдается непрерывное уменьшение ресурса агрегатов при отклонении в худшую сторону параметров от их нормативных значений.

Повышенная несоосность коренных опор блока цилиндров и коренных шеек коленчатого вала приводит к касанию трущихся поверхностей шеек и вкладышей и нарушению гидродинамического трения. В местах касания образуются условия полусухого и сухого трения с элементами схватывания и заедания, что приводит к повышенному изнашиванию поверхностей.

Увеличение зазоров в коренных и шатунных подшипниках коленчатого вала при постоянных значениях вязкости масла и режима работы двигателя требует роста оптимальной толщины масляного слоя. Однако при превышении зазоров в подшипниках оптимальная толщина масляного слоя уменьшается и возрастает влияние ударных нагрузок. При достижении зазора 0,25–0,30 мм наблюдается деформирование антифрикционного слоя, появляются наплывы и очаги локального разрушения.

В практике наблюдается износ гильз цилиндров до 0,4 мм в зоне остановки верхнего поршневого кольца. На основании гидродинамической теории смазки трудно установить допустимый износ отверстия цилиндра, так как детали работают в условиях между сухим и жидкостным трением и вибраций из-за периодического воздействия переменных по значению и направлению сил и недостаточной жесткости деталей. Износы трущихся поверхностей гильз и юбок поршней, а также торцовых поверхностей поршневых канавок коррелированы между собой. Износ этих элементов приводит к повышенному расходу масла, граничное значение которого определяет предельное состояние агрегата. Большой начальный зазор между гильзой и поршнем существенно снижает остаточную долговечность соединения.

Погрешности формы трущейся поверхности гильзы цилиндра в виде ее нецилиндричности и конусообразности достигают 0,12 мм. Замыкающий размер соединения «гильза цилиндра – поршень» обеспечивается групповой взаимозаменяемостью. Погрешности формы в этом случае должны составлять долю допуска размерной группы, а не долю допуска на изготовление детали. Влияние погрешности параметра выражается нарушением условий смазки и высоким давлением в местах контакта деталей.

Наименее изучено влияние непараллельности осей отверстий шатуна и неперпендикулярности осей юбки поршня и отверстия под поршневой палец на долговечность двигателей. Эти параметры в сумме при прочих равных условиях обуславливают перекося осей поршня относительно осей цилиндра. Даже при непродолжительной работе отремонтированного двигателя с «перекошенными» поршнями на их юбках

видны смещенные следы касания с гильзами. Площадь этих участков тем меньше, чем больше перекося, она составляет часть номинальной площади касания деталей, поэтому участки контакта интенсивно изнашиваются до тех пор, пока их площадь не станет равной площади касания деталей, собранных без погрешности (перекося).

Заключение

Таким образом, геометрические параметры восстановленных деталей не должны уступать соответствующим параметрам новых деталей, заданных заводами-изготовителями. Технический уровень производственных участков ремонтного производства, которые проходят реконструкцию или техническое перевооружение, должен обеспечить неукоснительное выполнение нормативных значений геометрических параметров восстанавливаемых деталей. Полученная регрессионная зависимость применима для двигателей конкретной модели. Использование аналогичных зависимостей, найденных для двигателей других моделей, собранных из деталей с заданными отклонениями параметров от номинальных значений, позволяет прогнозировать их послеремонтный ресурс с высокой точностью. Мероприятия по достижению отремонтированными изделиями нормативной долговечности связаны с повышением точности базирования и обработки резанием ремонтных заготовок при восстановлении деталей.

Литература

1. Гурвич, И. Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И. Б. Гурвич, П. Э. Сыркин, В. И. Чумак. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1994. – 144 с.
2. Черноиванов, В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин. – М. : ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
3. Иванов, В. П. Цена качества ремонта / В. П. Иванов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1999. – № 7. – С. 23–25.
4. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский. – М. : Наука, 1988. – 240 с.

Получено 11.09.2012 г.