

РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ТВЕРДОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

RATIONAL HARDNESS RATIO OF FUEL EQUIPMENT PARTS UNDER STATIC LOADING

В.О. СВЕЩИНСКИЙ, к.т.н.
С.П. БОБРОВ

Общество с ограниченной ответственностью
Управляющая компания «Алтайский завод прецизионных
изделий», Барнаул, Россия, sveschinsky@yandex.ru

V.O. SVESHCHINSKIJ, PhD in Engineering
S.P. BOBROV

LLC management company «Altai Plant of Precision Products»,
Barnaul, Russia, sveschinsky@yandex.ru

Определение рационального сочетания твердости деталей необходимо для определения ресурсных показателей изделий. Эта задача является актуальной и для деталей двигателей внутреннего сгорания, в том числе для деталей их топливной аппаратуры любого типа. В эксплуатации такие детали работают в условиях постоянного контакта. В России наблюдается широкое распространение топливных систем типа Common Rail. В полостях таких систем высокое давление топлива существует не только в момент впрыска, но и между впрысками. Развитие производства отечественной топливной типа Common Rail делает задачу определения рационального соотношения твердостей еще более важной. Ее решение необходимо, например, для соединений топливопроводов высокого давления со штуцерами форсунок, насосов высокого давления и топливных аккумуляторов. Изготовители двигателей в ряде случаев указывают в руководствах по эксплуатации предельные интервалы использования тех или иных компонентов, например, топливопроводов высокого давления. При этом практически отсутствуют методические материалы, позволяющие выбрать то или иное соотношение твердостей. Существуют лишь отдельные попытки в этом направлении, предпринимаемые в высших учебных заведениях, например в Алтайском государственном техническом университете имени И.И. Ползунова. В настоящей работе сделана попытка оценки деформации контактных поверхностей в соединениях типа «сфера по конусу», характерных для современной топливной аппаратуры при различных сочетаниях твердостей деталей. Критерием рациональности сочетания твердости принята ширина следа контакта – остаточной деформации деталей. Показано, что при оценке рациональности изготовители топливной аппаратуры ориентируются на то, какой компонент целесообразнее заменять в эксплуатации.

Ключевые слова: твердость, контакт, конус, высаженный профиль, штуцер, топливопровод.

The definition of a rational combination of hardness of parts is necessary to determine the resource indicators of products. This task is also relevant for parts of internal combustion engines, including parts of their fuel equipment of any type. In operation such parts are used under constant contact. There is a wide distribution of fuel systems such as Common Rail in Russia. The high fuel pressure in the cavities of such systems exists both at the time of injection and between injections as well. The development of production of the domestic common rail fuel type system makes the task of determining the rational ratio of hardnesses even more important. Its solution is necessary, for example, for connecting high-pressure fuel lines with nozzle fittings, high-pressure pumps and fuel batteries. Engine manufacturers in some cases indicate in the operating instructions the maximum intervals for the use of certain components, for example, high pressure fuel lines. At the same time, there are practically no methodological materials allowing one to choose one or another hardness ratio. There are only a few attempts in this direction made in higher education institutions, for example, in the Polzunov Altai State Technical University. In this paper, an attempt is made to estimate the deformation of contact surfaces in «sphere-by-cone» type joints, which are typical for modern fuel equipment with various combinations of component hardness. The criterion for the rationality of the combination of hardness is the width of the contact trace – the residual deformation of parts. It is shown that when evaluating the rationality of fuel equipment manufacturers are guided by what component is more appropriate to replace in operation.

Keywords: hardness, contact, cone, planted profile, fitting, fuel line.

Введение

Обеспечение заданного ресурса деталей, работающих в контактном взаимодействии, требует определения рационального сочетания их твердостей. Вопросы определения оптимального сочетания твердостей контактируемых деталей довольно подробно рассмотрены в отношении пары «рельс – колесо» и освещены, в частности, в работах [1–3]. Известны также попытки анализа контактного взаимодействия деталей топливной аппаратуры, например изложенные в работе [4]. Авторы этой работы даже предлагают свои рекомендации относительно изменений конструкции контактирующих частей деталей. Они рассматривают контакт типа «конус по конусу», характерный для топливной аппаратуры разделенного типа, которая в настоящее время применяется в новых разработках сравнительно редко.

В двигателях внутреннего сгорания, в первую очередь в топливной аппаратуре типа Common Rail, получило широкое распространение соединение, в котором контакт деталей осуществляется по схеме «сфера по конусу». Оно является разновидностью линзового и применяется, например, при подключении топливопроводов высокого давления (ТВД) к штуцерам форсунок, топливных аккумуляторов, насосов высокого давления.

Обычно регламентируют моменты затяжки гаек ТВД и предельно допустимое разрешенное количество снятий-установок компонентов топливной аппаратуры на мотор и, соответственно, количество сборок-разборок соединений. Например, для двигателей ЯМЗ-6565 допустимый момент 28–32 Н·м, (2,8–3,2 кгс·м) при обязательной принудительной замене ТВД после трех снятий-установок [1]. Для двигателей КАМАЗ значения моментов затяжки гаек ТВД несколько иные: 24,5–44,1 Н·м (2,5–4,5 кгс·м) [2, с. 226]. Можно предположить, что рекомендации связаны с достижением деталями предельного состояния второй группы, что может проявиться, прежде всего, в потере герметичности соединения, течи топлива на горячие части двигателя и его последующем воспламенении.

До настоящего времени российские двигатели с топливными системами типа Common Rail комплектуют ТВД иностранного производства. Серийный выпуск ТВД в России находится на начальной стадии и не покрывает всей потребности рынка. Топливные аккумулято-

ры отечественного производства использует только ПАО «КАМАЗ». Кроме того, в эксплуатации находится большое количество двигателей с установленными первоначально компонентами топливных систем иностранного производства. При техническом обслуживании могут быть установлены и будут устанавливаться запасные части, сделанные в России.

ТВД, топливные аккумуляторы и штуцеры в России и за рубежом имеют отличительные конструктивные особенности, при их изготовлении применяются различные материалы; стальной прокат и технологии механические свойства, в том числе, твердость иностранных и отечественных деталей различаются между собой. Существует объективная необходимость в информации, касающейся характера деформирования поверхностей ТВД и контактирующих с ними конических поверхностей штуцеров форсунок, аккумуляторов, топливных насосов высокого давления российского производства.

Цель исследований

Исследование деформирования контактных поверхностей ТВД и штуцеров при различном сочетании твердостей в условиях статического нагружения при затяжке регламентируемыми моментами.

Материалы и методы

Оценку остаточной деформации деталей проводили по ширине кольцевого следа на конусе детали, контактирующей с ТВД.

Для расширения диапазона проверяемых сочетаний твердостей контактирующих деталей изготовили имитаторы штуцеров и ТВД, имеющие значения твердости в диапазонах, более широких, чем указанные в чертежах реальных деталей. По конструкторской документации, штуцеры, контактирующие с ТВД, должны иметь угол конуса $60^{\circ+30'}$. Высаженная часть ТВД, серийно выпускаемых на Алтайском заводе прецизионных изделий, имеет в зоне контакта с ответной деталью криволинейный профиль. В продольном диаметральном сечении профиль ТВД в зоне контакта имеет форму сферы, а сам контакт, теоретически, осуществляется по линии – окружности $\varnothing 7,5$ мм.

Для удобства изложения далее слово «имитатор» опущено и используются слова «трубка» и «штуцер».

Изготовленные детали прошли объемную термообработку и имели следующие фактические значения твердости, HRC:

- трубки: 26,8; 33,1; 33,9; 37,0; 47,3; 48,2;
- штуцеры: 24,7; 27,6; 31,4; 32,5; 40,9; 43,4.

Выбор для изготовления вариантов исполнения по твердости обосновывали следующими соображениями.

Твердость контактного профиля ТВД определяется, с одной стороны, твердостью трубного проката и, с другой стороны, степенью деформации высаживаемой части, то есть конструктивными особенностями. В металлографической лаборатории Алтайского завода прецизионных изделий были выполнены измерения твердости в продольном сечении ТВД различного производства в районе запорного диаметра. Результаты представлены в табл. 1.

Все варианты ТВД из табл. 1 имели криволинейный продольный профиль. Условно считая влияние конструктивных отличий (исходную величину кривизны профиля в зоне контакта, линейные размеры и т.д.) незначительным, можно связывать отличия в твердо-

стях профиля только с механическими свойствами стального проката. Термообработка ТВД после высадки не производится.

Ответной контактной поверхностью для высаженной части ТВД являются конические поверхности штуцеров, выполненных как в виде отдельных деталей, например, для топливных форсунок, так и заодно с топливными аккумуляторами, секциями топливных насосов. Типичная термообработка – улучшение или нормализация. При этом твердость считается одинаковой по всему объему детали. В табл. 2 приведены сочетания твердостей штуцеров форсунок и аккумуляторов российского и иностранного производства.

Для всех деталей, перечисленных в табл. 2, номинальное значение угла конуса для установки высаженной части ТВД составляет 60°.

Механическую обработку трубок и штуцеров для испытаний проводили по серийной технологии с обеспечением соответствующих параметров микрогеометрии поверхностей.

Во время испытаний прижатие трубки к штуцеру осуществляли затяжкой серийной гайки ТВД с резьбой М14×1,5.

Таблица 1

Твердость в продольном сечении в районе запорного диаметра

Топливопровод высокого давления	Твердость на глубине 0,10–0,25 мм от наружной поверхности, HRC
Изготовитель: Guido GmbH Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	33,0
Изготовитель: Shandong Longkou Oil Pipe Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	29,5
Изготовитель: прокат – ОАО «ПНТЗ», ТВД – ООО УК «АЗПИ» Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	26,4
Изготовитель: прокат – Poppe und Potthoff GmbH ТВД – ООО УК «АЗПИ». Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	30,5

Таблица 2

Твердость штуцеров и топливных аккумуляторов

Деталь	Твердость
Ввертной штуцер секции высокого давления. Изготовитель: ООО УК «АЗПИ». Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	27...32 HRC
Штуцер секции высокого давления (изготавливается заодно с секцией). Изготовитель: ООО УК «АЗПИ». Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	40...45 HRC
Топливный аккумулятор. Поковка: Кузнечный завод «КАМАЗ». Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	235...277 HB
Топливный аккумулятор. Поковка: Bosch GmbH. Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	≤250 HB
Штуцер электроуправляемой форсунки. Изготовитель: ООО УК «АЗПИ». Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	27...32 HRC
Штуцер форсунки. Изготовитель: Bosch GmbH. Применение: двигатели ПАО «КАМАЗ»	34,2 HRC

В топливной аппаратуре от покрытия в обязательном порядке предохраняют поверхности, непосредственно омываемые топливом. Это объясняется необходимостью предотвращения попадания в прецизионные зазоры частиц покрытия. Кроме того, по условиям технологии производства, как правило, не имеют покрытия резьбовые штуцеры аккумуляторов высокого давления. Штуцеры форсунок оксидируют или фосфатируют.

Изготовленные трубки и штуцеры были без покрытия. Гайка ТВД имела покрытие Цбхр., включая резьбу. Затяжку выполняли по сухой резьбе.

Перед выполнением работ образцы сгруппировали попарно.

На первом этапе проводили оценку остаточной (пластической) деформации после однократной затяжки регламентированным моментом – минимальным и максимальным – по рекомендациям специалистов ПАО «КАМАЗ», то есть 2,5 кгс·м и 4,5 кгс·м. В табл. 3 приведены сгруппированные образцы и моменты затяжки.

Для второго этапа испытаний сформировали новую выборку образцов из неработавших деталей (см. табл. 4).

Как видно из табл. 4, для испытаний были подобраны следующие сочетания: самый мягкий штуцер – самая твердая трубка, две пары с близкой твердостью (вариант с более твердой трубкой и вариант с более твердым штуцером), самый твердый штуцер – самая мягкая трубка.

Образцы трубок и штуцеров подвергали трехкратной затяжке с промежуточной выдержкой между окончанием затяжки и страгиванием продолжительностью 10 с.

Перед проведением и после завершения работ на всех имитаторах были записаны профилограммы поверхностей в зоне контакта. При этом на детали вне зоны контакта, но вблизи от нее наносили продольную маркировочную метку, в направлении которой впоследствии записывали профилограммы.

Была сделана попытка определения глубины и кривизны зоны деформации – отпечатка на конусе штуцера без выполнения шлифа, как операции относительно трудоемкой.

Таблица 3

Группировка трубок и штуцеров по твердости (HRC) и моментам затяжки M (кгс·м) для испытаний на однократное нагружение

24,7		Штуцер, HRC				
		27,6	31,4	32,5	40,9	43,4
Трубка, HRC	26,8			● $M = 2,5$		
	26,8				● $M = 4,5$	
	33,1					● $M = 4,5$
	33,9					● $M = 2,5$
	47,3		● $M = 4,5$			
	48,2	● $M = 2,5$				

Таблица 4

Группировка трубок и штуцеров по твердости (HRC) для испытаний на трехкратное нагружение моментом $M = 4,5$ кгс·м

27,6		Штуцер, HRC		
		31,4	40,9	43,4
Трубка, HRC	26,8			●
	33,9		●	
	37,0			●
	48,2	●		

Штуцер устанавливали на координатно-измерительную машину. Касанием наконечника щупа в нескольких точках как вне, так и непосредственно на пояске контакта был построен виртуальный профиль конической поверхности.

Результаты и обсуждение

Для всех вариантов полученные следы от контакта имели форму круговых колец шириной до 0,3 мм при затяжке моментом $M = 2,5$ кгс·м и до 0,8 мм при затяжке моментом $M = 4,5$ кгс·м. Наибольшая ширина кольцевого пояска на конусе штуцера – 1,1 мм – зафиксирована для соотношения «твердость трубки / твердость штуцера» = 47,3/27,6 при моменте затяжки $M = 4,5$ кгс·м.

На рис. 1 и 2 показаны фотографии шлифов трубки и штуцера указанного варианта сочетаний твердости. Замеренная по шлифу радиальная деформация профиля конуса штуцера составила 0,05 мм.

В табл. 5 приведены результаты измерений шероховатости и ширины кольцевых поясков – следов контакта.

На рис. 2–5 приведены фотографии штуцеров и трубок после нагружения для разных сочетаний твердостей деталей.

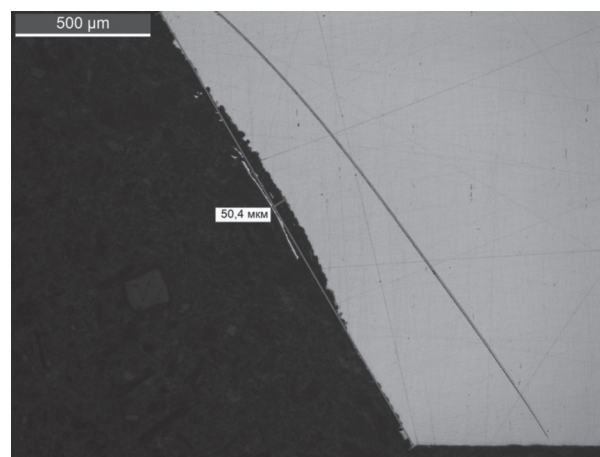


Рис. 1. Деформация продольного профиля конуса штуцера

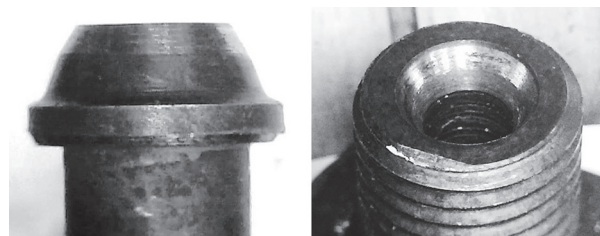


Рис. 2. Трубка и штуцер пары № 1

Таблица 5

Изменение характерных параметров поверхности в зоне контакта

№ пары	Твердость деталей испытуемой пары, HRC	Характерный параметр	Трубка		Штуцер	
			До нагружения	После нагружения	До нагружения	После нагружения
1	Трубка 26,8 Штуцер 43,4	Шероховатость, мкм: Ra Rz	1,115 5,501	2,009 11,443	0,305 1,580	1,643 8,463
		Ширина кольцевого пояска контакта, мм	1,8			
2	Трубка 33,9 Штуцер 31,4	Шероховатость, мкм: Ra Rz	1,606 6,454	0,637 2,633	2,292 11,578	1,086 6,055
		Ширина кольцевого пояска контакта, мм	0,7–0,8			
3	Трубка 37,0 Штуцер 40,9	Шероховатость, мкм: Ra Rz	0,574 2,629	0,200 0,911	2,169 12,190	0,885 4,933
		Ширина кольцевого пояска контакта, мм	0,8–0,9			
4	Трубка 48,2 Штуцер 27,6	Шероховатость, мкм: Ra Rz	0,564 2,583	0,592 2,656	3,470 18,116	1,438 8,580
		Ширина кольцевого пояска контакта, мм	0,9			

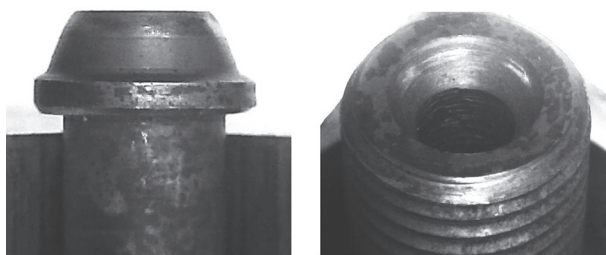


Рис. 3. Трубка и штуцер пары № 2

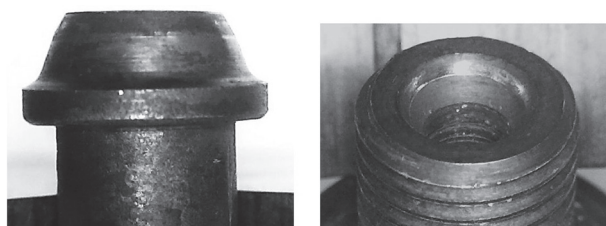


Рис. 4. Трубка и штуцер пары № 3

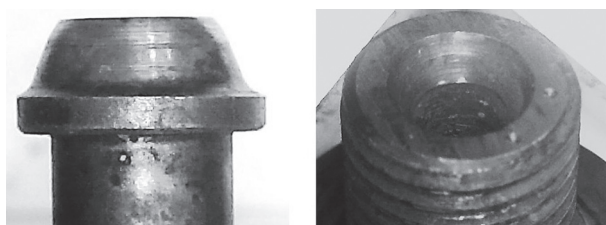


Рис. 5. Трубка и штуцер пары № 4

Кривизну отпечатка в зоне максимальной деформации определить не удалось. Его глубина по результатам измерений составила 0,031 мм.

Наименьшая ширина следа контакта трубки и штуцера при максимальном допустимом моменте затяжки получена при сочетании твердостей деталей: трубка – 33,9 HRC, штуцер – 31,4. При этом соотношение «твердость ТВД / твердость штуцера» составляло приблизительно 1,08.

В условиях эксплуатации при наличии вибраций на работающем двигателе, несмотря на постоянство контакта ТВД и штуцера, деформирование будет происходить более интенсивно. Соединение будет испытывать асимметричное знакопостоянное нагружение, что приведет к более быстрому деформированию взаимодействующих поверхностей. В качестве не столь далекой аналогии может быть упомянут работающий перфоратор или отбойный молоток, постоянно прижатый к обрабатываемой поверхности.

Неизбежное технологическое рассеяние твердости при термообработке штуцеров и по-

ковок аккумуляторов учитывается посредством указания в документации интервала задаваемых значений твердостей.

Твердость высаженного профиля ТВД есть параметр более прогнозируемый и стабильный. Определяющую роль играют механические свойства стального трубного проката и степень деформации заготовки при высадке. Свойства проката непосредственно связаны с прочностными требованиями, предъявляемыми к ТВД, то есть зависят от давления в топливной системе. Именно твердость высаженной части ТВД должна служить реперным показателем, относительно которого необходимо выполнять подбор характеристик ответных деталей.

В табл. 6 приведены значения отношения твердости штуцеров к твердости трубок, рассчитанные по данным табл. 1 и 2. Несоответствие значений можно объяснить, в частности, разными взглядами разработчиков на то, какой компонент топливной системы целесообразнее заменять чаще. Очевидно, что, если соотношение твердостей трубки и штуцера меньше единицы, то в большей степени деформироваться будет трубка и ее придется заменять. В качестве примера можно рассмотреть, в частности, пару ТВД производства фирмы Porre und Potthoff GmbH – штуцер электроуправляемой форсунки производства R. Bosch GmbH. Эта пара используется на двигателях ЯМЗ-6565. Соотношение твердостей равно 0,89, и это хорошо коррелирует с рекомендациями ПАО «Автодизель» о принудительной замене ТВД после трехкратного снятия-установки.

Из табл. 6 видно, что все указанные в ней ТВД будут деформироваться при установке на электроуправляемые форсунки R. Bosch. С точки зрения потребителя, это может быть оправдано: замена форсунки – операция более дорогостоящая, чем замена ТВД. В то же время ТВД производства Shandong Longhou Oil Pipe Co., Ltd. и Guide GmbH заметно тверже, чем аккумуляторы производства R. Bosch GmbH и Кузнечного завода ПАО «КАМАЗ». В качестве возможного объяснения можно предложить следующее. Фирма R. Bosch GmbH в настоящее время является основным поставщиком топливной аппаратуры типа Common Rail для двигателей ПАО «КАМАЗ». При этом, что очень важно, она не выпускает ТВД. Поставщик ТВД – компания Guido GmbH. R. Bosch GmbH, естественно, заинтересована в развитии рынка запасных частей

Таблица 6

Практические соотношения твердостей компонентов топливной аппаратуры Common Rail

Штуцер (место в топливной системе)	Трубка			
	ООО УК «АЗПИ»	SHANDONG LONGKOU Oil Pipe Co., Ltd.	Guide GmbH	Poppe und Potthoff GmbH
Ввертной штуцер ТНВД. Изготовитель: ООО УК «АЗПИ»	0,83...0,98	0,92...1,09	1,03...1,22	0,95...1,16
Штуцер ТНВД (изготавливается заодно с секцией). Изготовитель: ООО УК № АЗПИ»	0,59...0,66	0,66...0,74	0,72...0,83	0,68...0,76
Топливный аккумулятор. Поковка: Кузнечный завод «КАМАЗ»	0,99...1,17	1,06...1,26	1,15...1,36	1,08...1,28
Топливный аккумулятор. Поковка: Bosch GmbH	≥1,1	≥1,18	≥1,28	≥1,2
Штуцер электроуправляемой форсунки. Изготовитель: ООО УК «АЗПИ»	0,83...0,98	0,92...1,09	1,03...1,22	0,95...1,13
Штуцер форсунки. Изготовитель: R. Bosch GmbH	0,77	0,86	0,96	0,89

собственного производства, в частности аккумуляторов. К тому же более мягкие аккумуляторы обрабатывать легче. Можно предположить, что фирма сознательно проводит политику принуждения потребителей к замене своих компонентов и, соответственно, к приобретению новых. Электроуправляемая форсунка – более сложный и, соответственно, чаще заменяемый компонент топливной системы, чем аккумулятор. Можно предположить некий компромисс: ТВД выходят из строя на форсунках, но одновременно «портят» аккумуляторы. В итоге потребитель все равно заменяет и ТВД, и форсунки, и аккумуляторы – все в свое время, и все, вроде бы, довольны. ПАО «КАМАЗ» выступает точно в такой же роли, будучи заинтересованным в производстве попоквок аккумуляторов. Безусловно, такое утверждение чревато судебным риском со стороны производителя, но как предположение, имеет право на существование.

Поставщики ТВД более связаны в своих действиях, поскольку, как говорилось выше, твердость высаженного профиля является функцией механических свойств трубного проката и степени деформации заготовки при посадке.

Выводы

Наиболее твердыми из рассмотренных оказались ТВД производства фирмы Guido GmbH, наиболее мягкими – производства ОАО «ПНТЗ». Это может быть объяснено при-

менением разных марок сталей для изготовления проката. Сплав, используемый фирмой Guido GmbH, – сталь St70bk. Первоуральский завод применяет стали типа 17ГС с меньшим содержанием углерода, обеспечивая при этом заданный уровень механических свойств: предела прочности и текучести.

Вопрос об оптимальности соотношения твердости контактирующих деталей топливной аппаратуры должен ставиться и решаться исходя из предпочтительности замены того или иного компонента. Судя по практически применяемым диапазонам твердостей деталей, изготовители компонентов топливной аппаратуры руководствуются именно этими соображениями.

Литература

1. Шур Е.А. К вопросу об оптимальном соотношении твердости рельсов и колес // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути: материалы научно-практической конференции. ВНИИЖТ. М., 2003. С. 87–93.
2. Ларин Т.В. Об оптимальной твердости элементов пары трения «колесо – рельс» // Вестник ВНИИЖТ: 1965. № 3. С. 5–9.
3. Вихрова А.М., Ларин Т.В., Парышев Ю.М., Хургин Л.С. О соотношении твердости рельсовой и колесной стали // Вестник ВНИИЖТ. 1983. № 6. С. 34–38.
4. Ферапонтов В.А., Перфильева Н.В., Котенева Н.В. Исследование контактных перемещений в конусных соединениях на примере соединения

трубопровода и штуцера топливного насоса высокого давления // Ползуновский вестник. 2015. № 1. С. 82–85.

5. Двигатели ЯМЗ-6565, ЯМЗ-65651, ЯМЗ-65652, ЯМЗ-65653, ЯМЗ-65654 и их комплектации. Дополнение к руководству по эксплуатации 236Н-3902150 РЭ. Ярославль, 2013.
6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатели КАМАЗ 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.51-320 / под ред. Н.А. Гатаулли-на. Набережные Челны, 2002.

References

1. SHur E.A. The optimal ratio of the hardness of rails and wheels. *Sovremennye problemy vzaimodejstviya podvizhnogo sostava i puti: Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern problems of the interaction of rolling stock and trackways: Materials of a scientific-practical conference]. VNIIZHT. Moscow, 2003, pp. 87–93 (in Russ.).
2. Larin T.V. The optimal hardness of the elements of the “wheel-rail” friction pair. *Vestnik VNIIZHT*, 1965. No 3, pp. 5–9 (in Russ.).
3. Vihrova A.M., Larin T.V., Paryshev YU.M., Hurgin L.S. The ratio of hardness of rail and wheel steel. *Vestnik VNIIZHT*. 1983. No 6, pp. 34–38 (in Russ.).
4. Ferapontov V.A., Perfil'eva N.V., Koteneva N.V. Investigation of contact displacements in conical connections on the example of the connection of a pipeline and a high-pressure fuel pump fitting. *Polzunovskij vestnik*. 2015. No 1, pp. 82–85 (in Russ.).
5. Dvigateli YAMZ-6565, YAMZ-65651, YAMZ-65652, YAMZ-65653, YAMZ-65654 i ih komplektacii [YaMZ-6565, YAMZ-65651, YAMZ-65652, YAMZ-65653, YAMZ-65654 Engines and their configuration]. *Dopolnenie k rukovodstvu po ekspluatatsii 236N-3902150 RE. YAroslavl'*, 2013.
6. Rukovodstvo po ekspluatatsii, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu. Dvigateli KAMAZ 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.51-320 [Manual for operation, maintenance and repair. KAMAZ 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.51-320 engines]. Pod red. Gataullina N.A. Naberezhnye CHelny, 2002.