

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

© 2016 И.Д. Ибатуллин, М.Д. Карлова, Д.Р. Загидуллина

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

Представлены результаты разработки методов и приборов для контроля качества поверхностей деталей машин, включая детали с функциональными покрытиями. Приведены описания: адгезиометра и методики оценки прочности сцепления покрытия с основой; универсального диагностического комплекса для оценки параметров макро- и микрогеометрии и механических свойств поверхностных слоев. Дано описание нового метода «силового» профилографирования для уточненной оценки параметров кривой опорной поверхности.

Ключевые слова: адгезиометр, качество покрытий, макрогеометрия, микрогеометрия, универсальный диагностический комплекс «Ресурс-1А», силовое профилографирование.

ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении деталей пар трения большое внимание уделяется качеству рабочих поверхностей и особую важность контроль качества поверхностей приобретает, если на них были нанесены упрочняющие покрытия. В более ранних публикациях были показаны разработки лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ в области создания приборных средств и методик исследования различных характеристик качества поверхностей [1,2]. В настоящей статье приведены сведения о новых разработках СамГТУ, расширяющих возможности существующих методов исследований.

1. ПРИБОР И МЕТОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ОСНОВОЙ

Одним из важнейших показателей качества деталей с покрытиями является прочность сцепления покрытия с основой, которая в настоящее время определяется с помощью специальных приборов – адгезиометров. Для определения адгезии на отрыв детонационных покрытий традиционно используется штифтовой метод, когда прочность оценивают по усилию отрыва торца конического штифта от покрытия.

Новый способ оценки адгезионной прочности покрытия на отрыв реализуется в устройстве (рис. 1), содержащем: основу 1 с отверстием, в который вставлен толкатель 2, и пазом; распорный винт 3, обеспечивающий возможность

деформации паза; гайку 4, имеющую возможность прижимать толкатель к основе; покрытие 5, связывающее толкатель с основой силами адгезионного сцепления; плоскую пружину 6, в которой на одном конце имеется отверстие для установки основы, в центральной изогнутой части наклеены тензорезисторы 7, а на другом конце – резьбовое отверстие для нагружающего винта 8; рукоятку 9 обеспечивающую возможность поворота нагружающего винта; измерительную систему (на рис. 1. условно не показана), включающую тензоусилитель, связанный с тензорезисторами 7 и передающий сигнал на пиковый детектор, связанный с индикатором нагрузки. Геометрия толкателя, имеющего коническую головку, и основы с отверстием выбирается такой, чтобы перемещение толкателя наружу не сопровождалось трением по основе.

Способ реализуется по следующим этапам.

В нижнюю часть основы ввинчивают распорный винт таким образом, чтобы обеспечить упругую деформацию паза в основе. Прижимают толкатель к основе с помощью гайки. При необходимости производят подготовку основы к нанесению покрытия путем ее шлифования заодно с толкателем. На верхнюю часть основы наносят исследуемое покрытие (рис. 2 а). В качестве толкателя может использоваться стандартный винт с потайной головкой.

Вывинчивают из основы распорный винт, снимая упругую деформацию с основы. При этом снимается усилие прижима толкателя к поверхности основы, не оказывая, при этом, механического воздействия на покрытие. Гайку перемещают по резьбе вниз пока нижние торцы толкателя и гайки не совпадут. Вставляют основу в отверстие плоской пружины и, поворачивая рукоятку, подводят нагружающий винт к гайке с толкателем и монотонно увеличивают усилие F (рис. 2 б), до момента отрыва покрытия от основы (рис. 2 в). На рис. 2. плоская пружина,

Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения».
E-mail: id_ildar@mail.ru

Карлова Мария Дмитриевна, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

Загидуллина Динара Радиевна, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

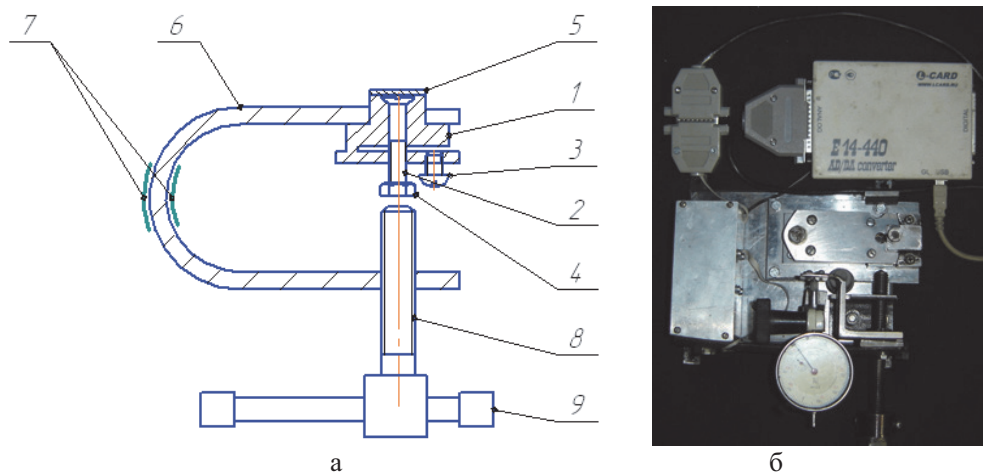


Рис. 1. Схема (а) и общий вид (б) устройства для оценки прочности сцепления покрытия с основой

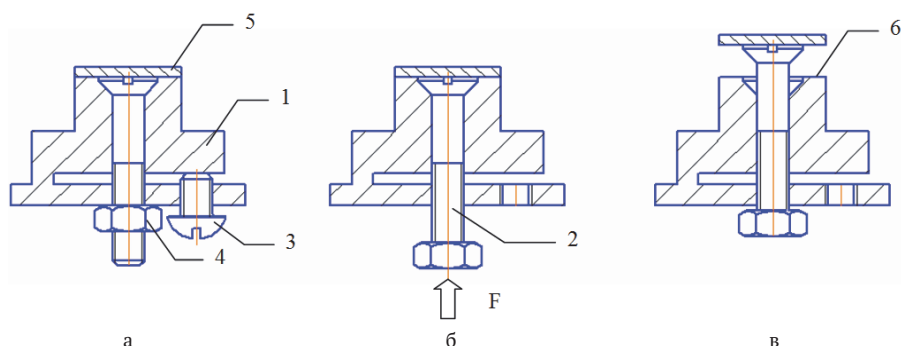


Рис. 2. Схема проведения испытаний по оценке адгезии покрытий на отрыв:
 а – вид тестового образца при нанесении покрытия;
 б – вид тестового образца перед испытаниями на отрыв покрытия;
 в – вид тестового образца после проведения испытания на отрыв покрытия

нагружающий винт с рукояткой и измерительная система условно не показаны. Одновременно с приложением усилия фиксируют его величину с помощью измерительной системы. После отрыва покрытия на индикаторе сохраняется показание величины отрывного усилия за счет использования пикового детектора.

Оценивают площадь оторванной части покрытия и рассчитывают прочность сцепления покрытия с основой на отрыв (в МПа) как отноше-

ние величины отрывного усилия (в Н) к площади оторванной части (в мм²).

Поскольку покрытие при испытаниях отделяется вместе с толкателем, а сам толкатель представляет собой недефицитный, дешевый элемент (винт с потайной головкой), то после испытаний его меняют на новый, а основу используют повторно для дальнейших испытаний. Характерная эпюра нагружения и вид толкателя после отрыва показаны на рис. 3.

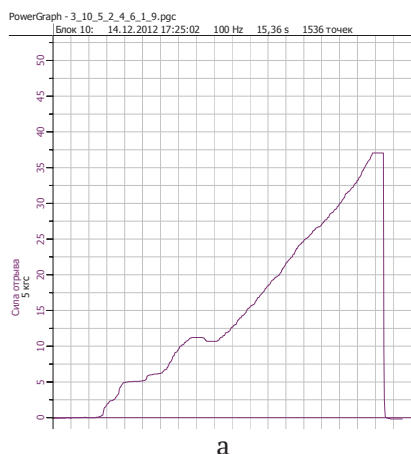
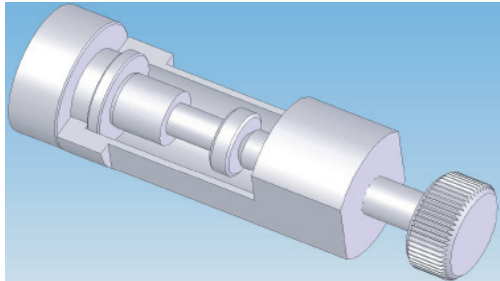
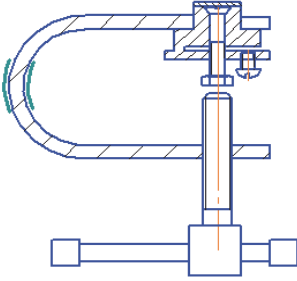


Рис. 3. Характерная эпюра нагружения (а) и общий вид (б) толкателя (винт М3) с оторванной частью покрытия после испытаний

Описанный метод испытаний на адгезию характеризуются экспрессностью (длительность одного испытания не более 1 минуты) и простотой выполнения исследований, а адгезиометр отличают компактность и наличие компьюте-

ризированной системы сбора, преобразования и хранения данных, обеспечивающей объективность получаемых данных. Способ имеет ряд преимуществ перед традиционным штифтовым методом, которые показаны в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества разработанного способа оценки адгезионной прочности покрытий по сравнению с аналогом

Штифтовой метод	Разработанный метод
	
<p>Сложная конструкция. Необходимо изготовить специальный штифт. Для подготовки к нанесению покрытия необходимо использовать специальную струбцину. Для отрывания штифта с фиксацией отрывной нагрузки также необходимо специальное приспособление.</p>	<p>Простая конструкция. В качестве толкателя используется стандартный винт М3 с потайной головкой. Для натяга толкателя используется стандартная гайка М3. Для отрывания покрытия используется простое приспособление (струбцина), показанное на рисунке. Усилие отрыва фиксируется с помощью компьютерной системы сбора данных.</p>
<p>Высокая погрешность. Угол штифта (30°) не исключает самозаклинивания штифта в отверстии. Это произойдет если коэффициент трения покоя штифта по штифтовому гнезду превысит 0,26. При сухом трении это условие практически всегда выполняется, а коэффициент трения покоя двух несмазанных металлических поверхностей приближается к 1 (табличное значение). А если поверхности шероховатые или загрязнены – и того больше. А если осевая нагрузка была достаточно велика (десять кгс и более) – результатам верить практически нельзя.</p>	<p>Низкая погрешность. Угол конуса головки винта равен 90°. В этом случае самозаклинивание, в практически значимом диапазоне коэффициентов трения покоя, не произойдет.</p>
<p>Толстые покрытия. В авторском свидетельстве №1809370 описывающем штифтовой метод отмечается, что «диаметр меньшего основания конуса выбран от 1 до 2 толщины покрытия». Следовательно, для получения достоверных сведений об адгезии с использованием предлагаемой оправки толщина покрытия должна составлять 1,3...2,6 мм. Причем после каждой перешлифовки штифтового гнезда толщину слоя придется увеличивать. При такой толщине покрытия на получаемый результат начнут оказывать влияние внутренние напряжения, создаваемые в зоне контакта покрытия с основой.</p>	<p>Покрытия любой толщины. Имеются опытные данные о работоспособности данного метода при толщине покрытия 0,5 мм и менее, при которой происходит чистый отрыв покрытия в виде «грибка». В случае более тонких покрытий возможно также совместное адгезионное и когезионное разрушение. В этом случае методами компьютерного планиметрирования определяется фактическая площадь отрыва покрытия. А адгезионная прочность определяется как отношение отрывной нагрузки к фактической площади отрыва.</p>
<p>Сложность подготовки для повторного использования. После отрыва штифта покрытие, оставшееся на поверхности штифтового гнезда, всегда требуется перешлифовывать.</p>	<p>Простота подготовки к повторному использованию. После отрыва покрытия оно остается на толкателе. Для подготовки образца к новым испытаниям в отверстие просто вставляют новый винт.</p>

2. МЕТОДИКА СИЛОВОГО ПРОФИЛОГРАФИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В работах [1, 2] отмечалось о создании в СамГТУ нового многофункционального программно-аппаратурного комплекса для оценки качества поверхностей (рис. 4). Идея создания комплекса заключается в том, что большинство приборов для контроля качества поверхностных слоев контактного типа (имеющие различные зонды или инденторы) имеют одни и те же автоматизированные или ручные механические приводы и измеряемые характеристики. Таким образом, диагностический комплекс, содержащий прецизионные приводы вертикального, горизонтального и углового перемещения образца, датчики нормальных и касательных сил, действующих на индентор и датчик вертикальных перемещений индентора, а также комплекс сменных насадок (конический и пирамидальный алмазные инденторы, стальной сферический) позволяет выполнять множество функций: 1) профилографировать поверхность с возможностью записи волнограммы на участке поверхности длиной до 100 мм; 2) определять градиент механических свойств, путем измерения микротвердости в процессе внедрения индентора; 3) оценивать энергию активации пластической деформации поверхностного слоя; 4) определять коэффициента трения и износостойкости при возвратно-поступательном движении шарикового индентора по поверхности; 5) прогнозировать остаточного ресурса испытываемого материала по энергетическому критерию прочности.

Открытая архитектура программного обеспечения для работы с универсальным диагностическим комплексом позволяет совершенствовать существующие и создавать новые методы исследований. К последним относится способ силового

профилографирования поверхностей которых, в отличие от традиционного метода сканирования поверхности при малых нормальных нагрузках позволяет более корректно выстраивать кривую опорной поверхности и получать характеристики, необходимые для последующих трибологических расчетов контурной площади контакта, контурных давлений и др.

Сущность заявляемого способа заключается в следующем [3]. Кривую опорной поверхности строят на основе профилограммы, полученной при сканировании контролируемой поверхности нагруженным зондом. Это позволяет учесть тот факт, что контролируемая поверхность в общем случае неоднородна и ее различные участки имеют различную жесткость и твердость (границы зерен, различные фазы, включения, оксидные пленки, прижоги и т.п.). При этом более твердые участки контролируемой поверхности будут на данной профилограмме выглядеть как выступы, а менее твердые - как впадины, наложенные на исходный профиль контролируемой поверхности. При высокой степени однородности поверхностного слоя профилограммы, полученные нагруженным и разгруженным зондом, практически будут близки. Для неоднородных материалов заявляемый способ позволит получить кривую опорной поверхности, которая позволит более корректно оценить ее характеристики, используемые при расчетах контактного сближения, а также площади фактического касания.

Твердость поверхности оценивают методом царапания, в котором повышение корректности измерений достигается автоматизированной оценкой глубины внедрения зонда, оцениваемой как разность показаний вертикальных перемещений зонда при последовательных сканированиях ширины царапины, осуществляемой визуально с

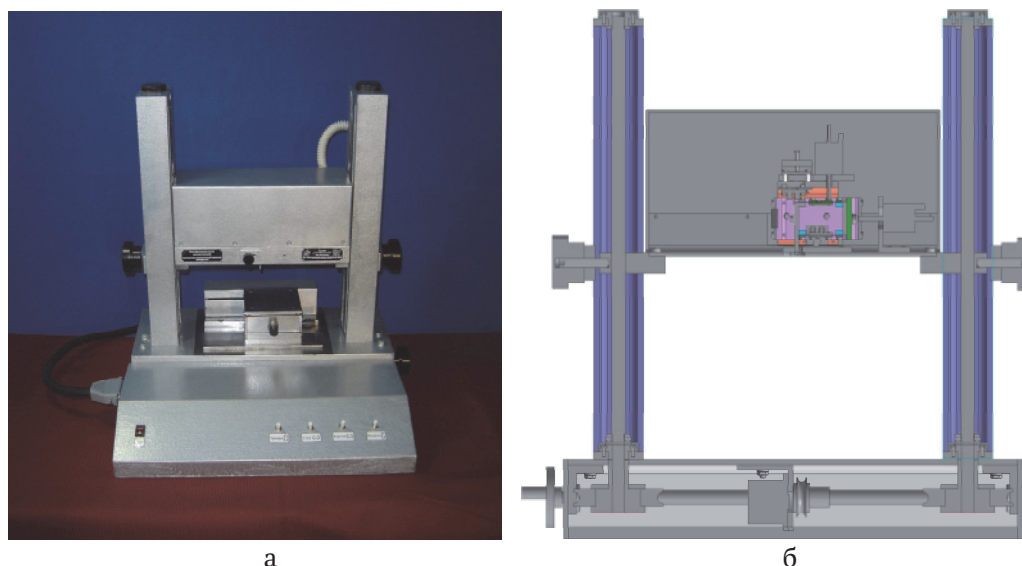


Рис. 4. Диагностический программно-аппаратурный комплекс для оценки качества поверхностей: общий вид (а) и схема (б)

помощью оптических приборов. При этом корректные данные о глубине внедрения зонда можно получить даже тогда, когда ширину царапины невозможно измерить из-за неопределенности контура ее границы. С учетом того что ширина b и глубина h царапины при использовании в качестве зонда, например алмазного наконечника Виккерса, связаны соотношением $h \approx 0,14b$, формула для оценки твердости

$$H_p = 3,708 \cdot P / b^2, \quad (1)$$

где P - нормальная нагрузка, преобразуется к виду

$$H_p = 0,07272 \cdot P / h^2. \quad (2)$$

Новый способ позволяет путем двукратного сканирования выбранного участка контролируемой поверхности получить корректные данные о шероховатости поверхности, кривой опорной поверхности и распределения твердости вдоль пути сканирования.

Метод силового профилографирования реализуется по следующим этапам.

- Помещают испытуемый образец на столик измерительного прибора. Опускают на контролируемую поверхность зонд и производят первое сканирование с нагрузкой на зонд, не вызывающей пластическую деформацию поверхности, и оценивают вертикальные перемещения зонда в процессе сканирования.

- На основе полученных данных о вертикальных перемещениях зонда строят профилограмму контролируемой поверхности и определяют параметры ее шероховатости, например R_a , R_z , R_{max} , R_p , затем возвращают зонд в исходное положение.

- Внедряют зонд в поверхностный слой на необходимую глубину, отражающую объемные свойства поверхностного слоя, за счет при-

ложения постоянной нормальной нагрузки, и производят второе сканирование, и оценивают вертикальные перемещения зонда.

- На основе полученных данных о вертикальных перемещениях зонда строят профилограмму поверхности, полученной нагруженным зондом, на основе которой строят кривую опорной поверхности и оценивают ее характеристики, например v , R_{pk} , R_{vk} и др.

- Определяют распределение твердости поверхностного слоя вдоль пути сканирования по формуле (2), принимая в качестве глубины внедрения зонда h величину разности данных о вертикальных перемещениях зонда в нагруженном и ненагруженном состоянии в соответствующей точке сканирования.

Пример реализации предложенного способа показан на рис. 5 и 6. В качестве зонда использовали наконечник Виккерса - алмазную пирамиду с квадратным основанием и межгранным углом при вершине 136° . В качестве образца использовали кузовную стальную шайбу. Опустили зонд на поверхность образца под нормальной нагрузкой $0,002$ Н, не вызывающей пластической деформации поверхности, и получили профилограмму $P1$ поверхности образца (рис. 5) при базовой длине $l=0,8$ мм. Определили параметры шероховатости поверхности: $R_{max}=5$ мкм; $R_p=1,2$ мкм; $R_z=1,36$ мкм; $R_a=0,41$ мкм. Вернули зонд в исходное положение, нагрузили его статической нагрузкой $0,11$ Н, повторно просканировали поверхность и получили профилограмму $P2$ (рис. 5), на основе которой построили кривую опорной поверхности. На основе анализа кривой опорной поверхности получили значение относительной опорной длины по средней линии $t_m=0,5$. Построили распределение глубины внедрения зонда h вдоль

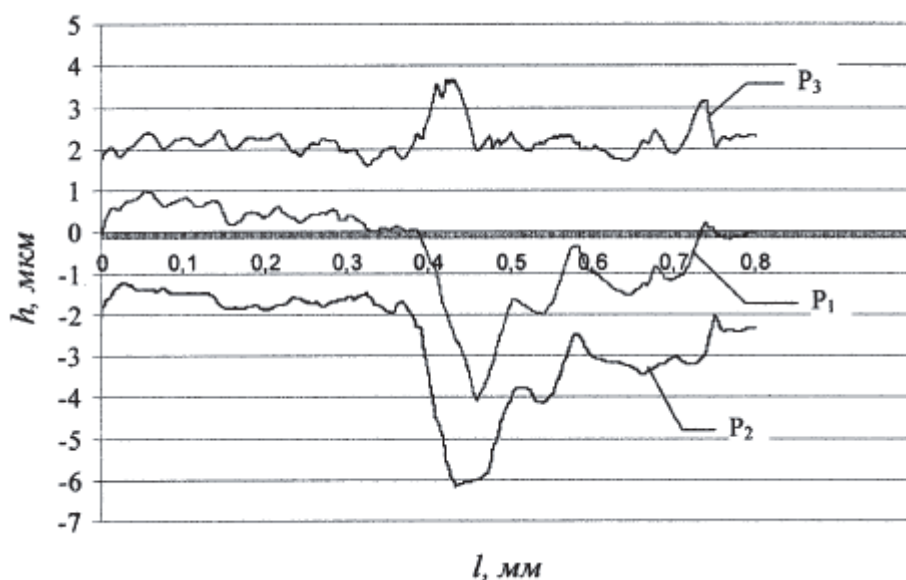


Рис. 5. Результаты построения и обработки профилограмм: полученных разгруженным зондом – $P1$; полученных зондом, нагруженным нормальной нагрузкой $0,11$ Н – $P2$; $P3$ – разность значений профилограмм $P1$ и $P2$, характеризующая глубину внедрения зонда относительно профиля $P1$

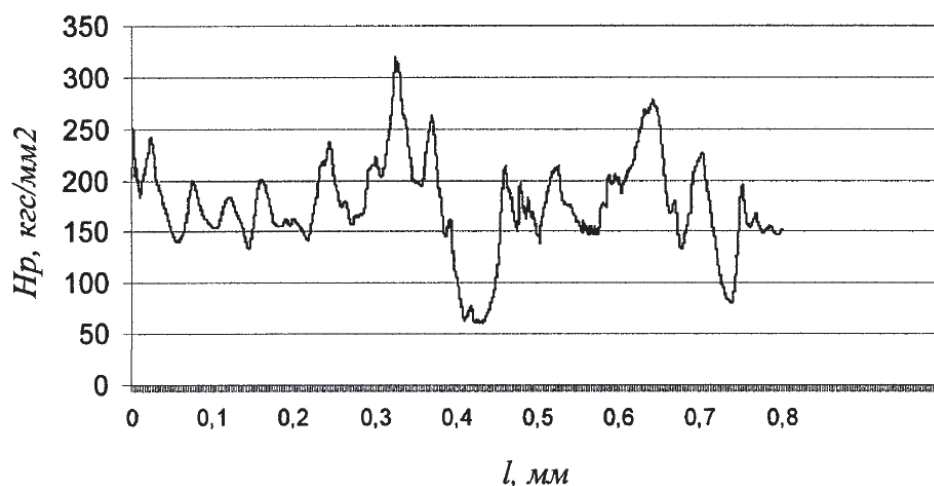


Рис. 6. Распределение твердости поверхности образца по базовой длине

пути сканирования в виде расчетной кривой P3 (рис. 5) как разницу высотных характеристик профилограмм P1 и P2 вдоль пути сканирования.

Построили распределение твердости поверхности (рис. 6) вдоль пути сканирования путем расчета твердости по формуле (2) с подстановкой полученного распределения значений h вдоль пути сканирования.

Описанный метод позволяет расширить функциональные возможности оценки характеристик поверхностных слоев и получить более корректные данные, отражающие объемные свойства поверхностных слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д., Деморецкий Д.А. и др. Новые приборы контроля качества поверхностей // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13. №1(3). С. 578-581.
2. Шашкина Т.А., Утянкин А.В., Галлямов А.Р. и др. Приборы и методы исследования качества поверхностей // Вестник СГАУ. 2011. №3(27). Часть 1. С.197-203.
3. Патент РФ № 2516022. Способ сбора и обработки информации о поверхности образца. Бюл. № 14 от 20.05.2014.

DEVICES AND METHODS OF THE ESTIMATION OF QUALITY OF COVERINGS

© 2016 I.D. Ibatullin, M. D. Karlova, D.R. Zagidullina

Samara State Technical University

Results of development of methods and devices for quality control of surfaces of details of cars, including details with functional coverings are presented. Descriptions are provided: adhesion meter and techniques of an assessment of durability of coupling of a covering with a basis; universal diagnostic complex for an assessment of parameters macro - and microgeometry and mechanical properties of blankets. The description of a new method of a "power" profile for the specified assessment of parameters of a curve basic surface is given.

Keywords: adhesion, quality of coverings, macrogeometry, microgeometry, universal diagnostic complex "Resource-1A", power profile.

Ildar Ibatullin, Doctor of Technics, Professor at the Mechanical Engineering Technology Department.

E-mail: id_ildar@mail.ru

Mariya Karlova, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.

Dinara Zagidullina, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.