

16. Kuznetsov A.M., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Slepenco E.A., Rychkov D.A. Rationalization of the milling of hard composite carbide tool // *Mekhaniki XXI veku: sb. st.* 2008. № 7. P. 196-200.

17. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Organizational and technological training tools for machining of composite non-metallic materials // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2012. № 2-2 (292). P. 17-23.

18. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Bazarkina V.V. S Improving the technology of forming high strength glass fiber composite materials based on polymers //

Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty): sb. st. 2012. № 3. P. 150-153.

19. Yuanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V. Surface quality of the fiberglass composite material after milling // *Applied mechanics and materials*. 2014. № 682. P. 183-187.

20. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Influence of sharpening on the quality of hard-alloy tools for the cutting of composite // *Russian Engineering Research*. 2011. № 3. P. 236-239.

21. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Petrov N.P. Optimal organization of tools for machining composites // *Russian Engineering Research*. 2011. № 2. P. 156-157.

УДК 620.17

Разработка ударного способа определения модуля упругости материала

В.Л. Лапшин^а, А.В. Рудых^б, А.В. Глухов^с

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^аlapshin@istu.edu, ^бrudykh@istu.edu, ^сa.v.gluhov@mail.ru

Статья поступила 16.04.2015, принята 30.04.2015

Для теоретического исследования процесса ударного взаимодействия сферического тела с поверхностью была разработана упруго-вязко-пластичная механореологическая модель. На базе математической модели создана специальная компьютерная программа, выполнен комплекс исследований и выявлены основные закономерности поведения модели. Исследовалось влияние упругих, вязких и пластических параметров модели на динамические параметры ударного процесса. На основе полученных результатов разработан и запатентован новый ударный способ определения модуля упругости материала, заключающийся в следующем. В процессе эксперимента свободно падающим индентором сферической формы с известными свойствами наносится удар по образцу исследуемого материала, и фиксируются параметры ударного взаимодействия: время удара, высота отскока, максимальная величина силы ударного взаимодействия и время, соответствующее максимальной величине силы ударного взаимодействия. Далее выполняется расчет с помощью компьютерной программы, разработанной на основе математической модели. Об искомом модуле упругости исследуемого материала судят по численному значению коэффициента жесткости упругого элемента упруго-вязкого блока расчетной модели, при котором рассчитанные на модели параметры ударного взаимодействия совпадут с экспериментальными значениями.

Ключевые слова: ударное взаимодействие тел; механореологическая модель; математическое моделирование ударных процессов; определение свойств материалов.

Developing impact method for elasticity modulus of a material

V.L. Lapshin, A.V. Rudykh, A.V. Glukhov

Irkutsk State Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

^аlapshin@istu.edu, ^бrudykh@istu.edu, ^сa.v.gluhov@mail.ru

Received 16.04.2015, accepted 30.04.2015

An elastic-visco-plastic mechanoreological model has been developed for theoretical analysis of impact interaction of a spherical body with plane surface. A special research software has been developed on the basis of mathematical model, a complex of studies has been performed and main regularities of model's behavior have been identified. The effect of the model's elastic, viscous and plastic parameters onto dynamic parameters of impact process has been studied. The obtained results served as basis for development of a patented new impact method for measurement of material's elasticity modulus. The method is applied as follows. In the course of experiment, a free-falling spherical indenter with known properties impacts a sample of material, while certain impact parameters are being recorded: impact duration, rebound height, maximum magnitude of impact interaction force and time, which correspond to maximum value of impact interaction force. During the next step, a software-aided calculation is performed based on mathematical model. Elasticity modulus of the tested material is estimated by the numerical value of hardness factor attributable to elastic element

within the elastic-viscous block of calculation model, at which the parameters of impact interaction estimated in the model match those determined experimentally.

Key words: impact interaction of bodies; mechanoreological model; mathematical modelling of impact processes; material properties measurement.

Введение. Определение упругих свойств материалов, в частности модуля упругости, может производиться путем статического сжатия или растяжения соответствующих образцов на прессах или разрывных машинах. В ходе проведения таких испытаний определяются деформации при соответствующих нагрузках, и рассчитывается модуль упругости материала.

Более компактными и мобильными являются ударные способы определения физико-механических свойств материалов: по образцу исследуемого материала наносится удар индентором, например стальным сферическим телом, и по параметрам ударного взаимодействия судят о физико-механических свойствах материала, а именно упругости, пластичности, прочности, твердости и др. При этом в качестве параметров ударного взаимодействия используют высоту отскока, а также скорость падения и отскока индентора, продолжительность удара и целый ряд других параметров [1–3].

Известные аналоги. Рассмотрим кратко некоторые наиболее близкие ударные способы оценки упругих свойств материала. Известен способ определения упругих свойств твердых материалов, согласно которому на поверхность образца исследуемого материала с заданной высоты сбрасывают индентор, например стальное сферическое тело, измеряют высоту отскока индентора, и по этому параметру судят об упругих свойствах исследуемого материала [4]. Недостатком способа является низкая достоверность, так как неоднозначно оценить упругие свойства исследуемого материала только по высоте отскока индентора практически невозможно. Объясняется это следующим.

В первую очередь высота отскока (или, что то же самое при условии неучета аэродинамических сопротивлений движению при свободном отскоке и падении индентора, время между первым и вторым соударениями индентора с образцом исследуемого материала) характеризует потери энергии при ударе на этапе контактного взаимодействия индентора с опорной поверхностью, которой является исследуемый образец. В частности, эти потери энергии могут быть объяснены возникающими в месте контакта пластическими деформациями, рассеянием энергии при упругих деформациях (внутреннее трение в материале), смятием или разрушением микронеровностей в зоне контакта и еще рядом факторов.

Поэтому для повышения достоверности способа необходимо использовать дополнительные параметры ударного взаимодействия, которые могут характеризовать упругие свойства материала более достоверно и точно. Таким параметром может являться, например, время удара.

Известен способ определения модуля нормальной упругости [5]: на образец исследуемого материала

воздействуют свободно падающим индентором шарообразной формы с известными свойствами и измеряют время между первым и вторым соударениями индентора с образцом исследуемого материала. Кроме этого, дополнительно измеряют диаметр отпечатка индентора и на основе полученной информации рассчитывают модуль упругости исследуемого материала по математической формуле.

Дополнительный параметр, в качестве которого используют диаметр отпечатка индентора, в первую очередь характеризует не упругие, а пластические свойства материала, так как исследуются остаточные (пластические) деформации, возникающие вследствие ударного взаимодействия индентора с опорной поверхностью образца исследуемого материала. Таким образом, используется сложная косвенная взаимосвязь искомого параметра (модуля упругости материала) с измеряемыми величинами — временем между первым и вторым соударениями индентора с образцом исследуемого материала и диаметром отпечатка индентора. Как было отмечено, у материалов, имеющих близкие модули упругости, но различные пластические свойства, при ударе индентора возникают неодинаковые пластические деформации, и отпечатки индентора будут различными. Поэтому говорить о высокой достоверности данного способа, на наш взгляд, не совсем корректно.

Наиболее точным и близким к предлагаемому является способ определения модуля упругости материала [6], взятый за прототип, в котором на образец исследуемого материала воздействуют свободно падающим индентором шарообразной формы с известными свойствами, измеряют время удара и время между первым и вторым соударениями индентора с образцом исследуемого материала (высоту отскока индентора).

Расчет модуля упругости выполняют с помощью расчетной механореологической упруго-вязкой модели с нелинейным упругим элементом с использованием экспериментально найденных значений времени удара и времени между первым и вторым соударениями индентора с образцом исследуемого материала, для чего заменяют систему «образец исследуемого материала – индентор» на этапе контакта индентора с образцом исследуемого материала расчетной механореологической упруго-вязкой моделью с нелинейным упругим элементом.

Постановка задачи. Недостатком способа является невысокая достоверность при исследовании пластичных материалов.

Основными механическими свойствами материала, влияющими на параметры ударного взаимодействия тел, являются упругость, пластичность и вязкость (диссипативные свойства), характеризующие потери энергии при упругом деформировании тела. К основным параметрам ударного взаимодействия тел