

Инструмент, порошки, пасты

УДК539.4

В. В. Хворостяный*, **А. В. Панасенко** (г. Киев)
*plt2002@ukr.net

Оценка повреждаемости кромок твердосплавного инструмента при локальных нагрузениях

Экспериментально исследована повреждаемость кромок твердосплавного режущего инструмента при локальных контактных нагрузениях. Используются различные параметры оценки повреждаемости материалов и показана закономерность их изменения в зависимости от методов модификации поверхности пластин твердого сплава и уровня приложенной нагрузки. Проведена статистическая обработка результатов испытаний с использованием распределения Вейбулла.

Ключевые слова: *твердый сплав, локальное контактное нагружение, повреждаемость кромок, параметр повреждаемости, распределение Вейбулла.*

В современном мире экономика страны зависит от развития ее машиностроения как главной отрасли промышленного производства, отражающей уровень научно-технического состояния и конкурентоспособности государства. Неизменным трендом является рост объемов производства, расширение номенклатуры готовой продукции с постоянным улучшением ее потребительских свойств. При этом затраты на единицу продукции, что приходится на инструменты, составляют довольно значительную часть. Поэтому экономически целесообразным является повышение качества обрабатываемого инструмента, увеличение его ресурса, что достигается за счет использования высококачественного сырья и прогрессивных технологий производства.

В мировой практике металлообработки широко используют инструментальные материалы с покрытиями, обладающие повышенной прочностью, ударостойкостью, высокой износостойкостью, эффективно применяющиеся при высоких температурах резания и высокой твердости обрабатываемых материалов. Такие методы модификации поверхности режущего инструмента, как метод физического осаждения покрытий (PVD) и магнитно-абразивная обработка (MAO), позволяют расширить его технологические возможности и достичь наибольшего улучшения работоспособности [1–3].

© В. В. ХВОРОСТЯНЫЙ, А. В. ПАНАСЕНКО, 2015

Целью настоящей работы было исследование влияния методов модификации рабочих поверхностей пластин твердого сплава ВК8 на повреждаемость их кромок при локальных контактных нагружениях.

Используемый экспериментальный метод заключался в перемещении нагруженного пуансона вдоль кромки режущей пластины из твердого сплава. Испытания проводили на специально приспособленном оборудовании, в нагружающей опоре которого закрепляли пуансон в виде цилиндра (радиус закругления $r = 0,8$ мм), а на предметном столе – зажимное крепление образца. В данных испытаниях был реализован мягкий режим нагружения. В качестве нагрузки использовали эталонную массу – металлические гири с различным весом. Исследуемый образец жестко закрепляли в зажимном устройстве так, что его рабочая поверхность была расположена в горизонтальной плоскости. Нагружающий пуансон был закреплен под углом $\sim 12^\circ$ относительно вертикальной плоскости (плоскости нормального приложения нагрузки) для локализации контактной площадки, что моделировало возможную глубину резания. После контакта пуансона с кромкой образца и приложения заданной нагрузки следовало перемещение предметного стола, тем самым осуществлялось сканирование кромки (рис. 1).

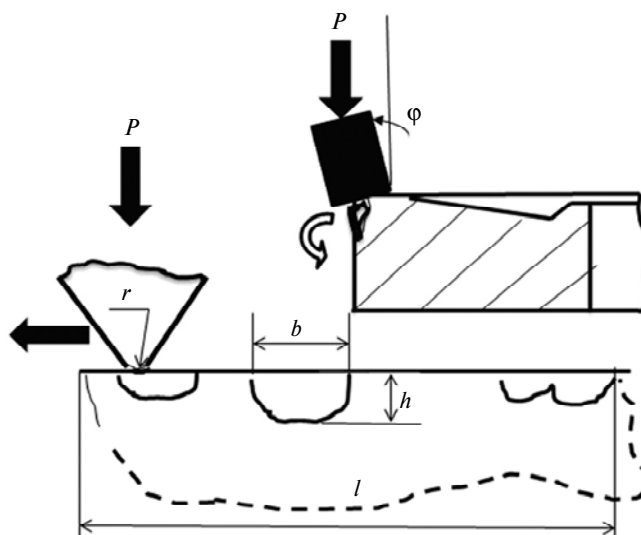


Рис. 1. Схема испытаний на сканирование пуансоном кромки пластины твердого сплава ВК8: P – нагрузка; l – длина кромки; b и h – ширина и глубина скола; r – радиус закругления; $\varphi = 10^\circ\text{--}12^\circ$ – угол закрепления нагружающего пуансона.

В результате сканирования кромки на задней поверхности пластины были образованы сколы, которые изучали на оптическом стереоскопическом микроскопе МБС-10, а также оптическом инвертированном микроскопе Axiovert 40MAT (“Carl Zeiss”). Характерные размеры сколов измеряли с помощью данных микроскопов и соответствующих компьютерных программ – VidCap32 и Axiovision LE. Площадь сколов определяли двумя способами – приближенным и более точным. Приближенный способ заключался в аппроксимации каждого скола элементарной геометрической фигурой (половина эллипса, прямоугольник), площадь которой вычисляли по известной формуле. Более точный способ предполагал использование разработанного программного обеспечения для анализа и проведения измерений на растровых

цифровых изображениях (рис. 2), в котором для расчета площади объекта на фотоснимке применяли алгоритм определения площади непересекающегося многоугольника методом треугольников. Суть алгоритма заключается в следующем: многоугольник представляет собой сумму треугольников, две вершины которого – это две соседние вершины многоугольника, а третья вершина – начальная точка отсчета. Соответственно, сумма площадей всех треугольников для каждой пары соседних вершин многоугольника является площадью многоугольника. Подобный алгоритм позволяет определять площади многоугольников произвольной формы, стороны которых не пересекаются. Для пересчета размеров из пикселей в метрическую систему использовали процедуру калибровки изображения по объекту-микрометру с ценой деления 10 мкм. Сравнение двух используемых способов определения площадей сколов на задней поверхности твердосплавной пластины показало удовлетворительное совпадение результатов. Погрешность приближенного способа составляла не более 10 % по отношению к более точному способу определения площади скола.

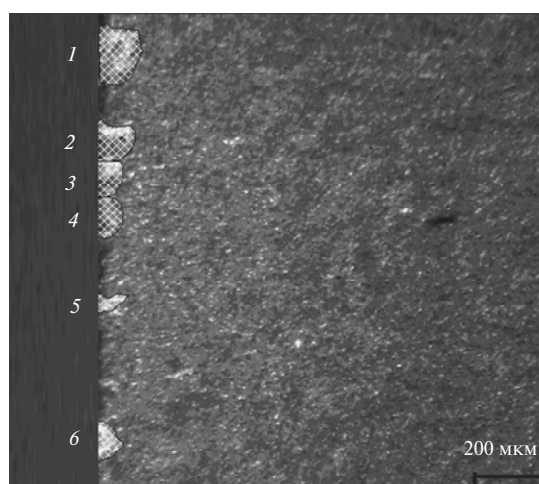


Рис. 2. Участок просканированной пуансоном кромки образца 3 твердого сплава ВК8 с нагрузкой $P = 50,6$ Н и сколы (1–6), площадь которых вычислена с помощью компьютерной программы.

Испытывали пластины модифицированного твердого сплава ВК8, упрочнение которых выполнено в НТУУ “КПИ” проф. В. С. Майбородой [3, 4]. Первичные эмпирические данные, такие как глубина, длина и площадь каждого скола, служили для определения размерных и безразмерных параметров повреждаемости кромки при локальном контактном нагружении (таблица). Визуализацию поврежденности кромок осуществляли построением соответствующих гистограмм (рис. 3), для которых по оси абсцисс откладывали значения длины просканированной кромки l , мм, а по оси ординат – значения площади сколов S_c^i , мм².

Анализ экспериментальных результатов позволил определить степень повреждаемости материалов, закономерности ее изменения с увеличением нагрузки на пуансон. Отмечена тенденция уменьшения плотности p сколов по длине кромки в ряду образцов 1–2–3 для применяемых трех уровней нагрузки, что свидетельствует о влиянии дополнительной обработки МАО на повреждаемость материалов. Также для каждого исследуемого образца уста-

новлено, что p главным образом увеличивается с повышением приложенной нагрузки. Аналогичные закономерности повреждаемости кромок обнаружены при использовании удельной площади сколов на единицу длины просканированной кромки (рис. 4).

Результаты экспериментального исследования повреждаемости твердого сплава ВК8

Нагрузка на пуансон $P = 35,9$ Н					
Образец твердого сплава ВК8	Метод модификации поверхности	Количество сколов на кромке n , шт.	Площадь скола S_c , мм ²	Плотность p сколов по длине кромки, %	$\sum_{i=1}^n \frac{S_c^i}{l_c^i}$, мм ² /мм
1	СП (без MAO)	67	0,0102±0,0053	89,7	0,0688
2	MAO + СП	55	0,0102±0,0051	64,4	0,0585
3	MAO + СП + MAO	44	0,0097±0,0050	56,0	0,0443
Нагрузка на пуансон $P = 50,6$ Н					
1	СП (без MAO)	54	0,0104±0,0044	78,2	0,0541
2	MAO + СП	40	0,0131±0,0080	69,9	0,0544
3	MAO + СП + MAO	22	0,0129±0,0061	37,6	0,0294
Нагрузка на пуансон $P = 80,0$ Н					
1	СП (без MAO)	56	0,0140±0,0079	100	0,0780
2	MAO + СП	46	0,0158±0,0093	87,0	0,0728
3	MAO + СП + MAO	54	0,0126±0,0050	96,6	0,0761

Примечание. СП – столбчатое покрытие; MAO – магнитно-абразивная обработка;

$p = \frac{\sum_{i=1}^k l_c^i}{l} 100$ %, где $\sum_{i=1}^k l_c^i$ – суммарная длина поврежденного участка кромки; l – длина

просканированной кромки; S_c^i – площадь i -го скола на кромке.

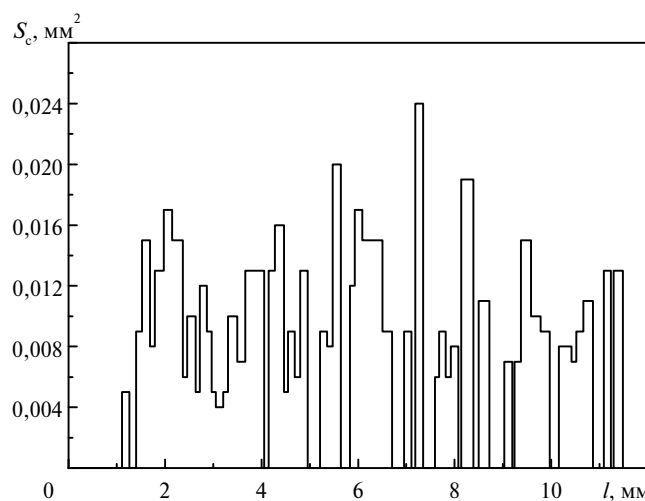


Рис. 3. Гистограмма поврежденности кромки образца 1 твердого сплава ВК8 после испытания на сканирование пуансоном кромки с нагрузкой $P = 50,6$ Н.

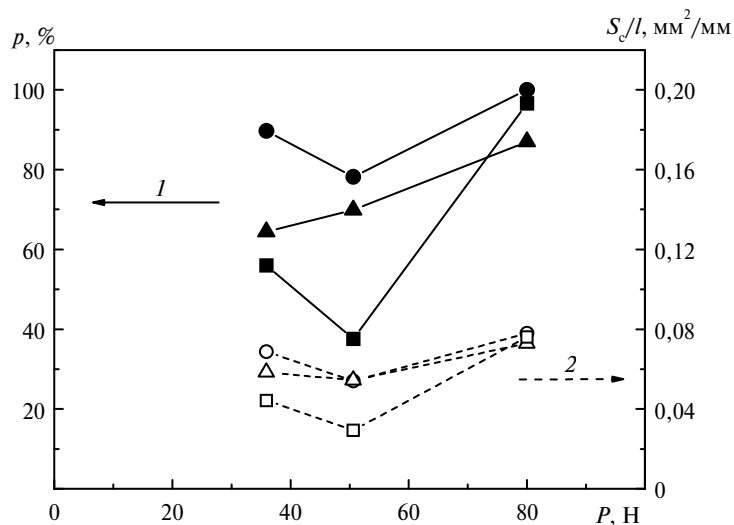


Рис. 4. Закономерности изменения повреждаемости кромок образцов твердого сплава ВК8 с увеличением приложенной нагрузки на пуансон по параметрам плотности сколов по длине кромки (1) и площади сколов на единицу длины кромки (2); образцы 1 (●, ○), 2 (▲, △), 3 (■, □).

Применение больших нагрузок на пуансон приводило к тому, что на кромках исследуемых образцов формировались сколы с большей площадью. Это отражалось на параметре $1/S_c$, который был выбран как более удобный при аналитическом рассмотрении особенностей повреждаемости кромки в случае образования вероятных крупных сколов и достоверном определении параметров распределения и размеров повреждений при ограниченных объемах испытаний. Для данного параметра были построены экспериментальные кривые распределения Вейбулла для разных значений нагрузки и для каждого материала [5–7]. Как следует из анализа результатов, использование модальных аппроксимаций экспериментальных зависимостей статистических распределений является приемлемым для описания механического поведения материалов в указанных условиях нагружения (рис. 5). Однако для случаев ответственных конструкций и деталей машин с целью повышения точности аналитической аппроксимации этих данных можно применять бимодальную аппроксимацию такого рода мультимодальных зависимостей, отдельно рассматривая выборку отклоняющихся от модального распределения нижних значений.

В экспериментальных исследованиях локального разрушения кромок образцов керамических материалов, стекла и твердых сплавов с использованием различных инденторов (или пуансонов) в качестве критериев поврежденности и сопротивления разрушению обычно рассматривали средние значения характерного размера скола и отношения приложенной нагрузки к этому размеру скола соответственно [8–12]. Применение статистических подходов к оценке повреждаемости материалов в таких испытаниях [5], судя из анализа литературных источников, крайне ограничено, несмотря на наличие значительного разброса экспериментальных данных. Определение конструкционной прочности материалов по средним значениям может быть недостаточным для прогнозирования работоспособности ответственных элементов при локальных нагружениях. Вместе с тем эта проблема решается на основе детального анализа гарантированного уровня прочности кромки.

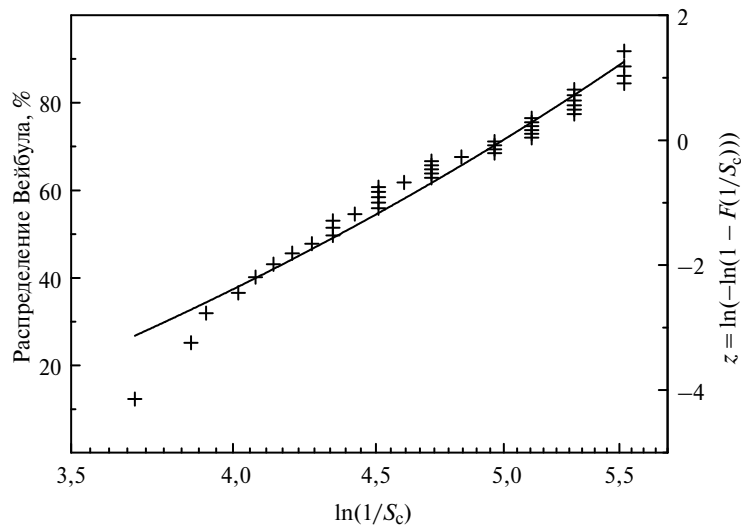


Рис. 5. Мономодальная аппроксимация экспериментальной зависимости распределения Вейбулла для параметра $1/S_c$ при испытаниях на сканирование пуансоном кромки образца 2 твердого сплава ВК8 с нагрузкой $P = 50,6$ Н.

В системе координат yOz для распределения Вейбулла справедливо уравнение [7]

$$z = \alpha y - \beta, \quad (1)$$

где $z = \ln(-\ln(1 - F(x)))$, $F(x)$ – функция распределения Вейбулла; $y = \ln x$, x – некоторое значение, принимаемое случайной величиной X (параметр $1/S_c$); α – параметр формы; $\beta = \alpha \ln \lambda$, λ – параметр масштаба.

Оценку коэффициентов уравнения (1) производили с помощью метода наименьших квадратов. Получены статистически обоснованные значения параметра повреждаемости кромки $1/S_c$ при вероятности разрушения 0,01, 0,50 и 0,99, что позволило уточнить площадь сколов кромки и повысить достоверность прогноза работоспособности материала при заданной вероятности разрушения ответственных изделий (рис. 6). Следует отметить, что при возрастании нагрузки прослеживается увеличение вероятного скола для каждого материала при вероятности разрушения 0,99 и 0,50. Однако при вероятности разрушения 0,01 (образование крупных сколов) однозначной аналогичной тенденции не наблюдали. В связи с большим разбросом экспериментальных результатов для уточнения зависимостей параметра повреждаемости материалов от нагрузки на рис. 6 приведены зависимости S_c-P и границы доверительных интервалов с 99 %-ным уровнем надежности (на основе нормального закона распределения) для средних значений S_c .

Предложенное описание результатов экспериментального исследования хрупких и квазихрупких материалов в условиях локального контактного нагружения с помощью ряда эмпирических параметров и распределения Вейбулла демонстрирует закономерности повреждаемости кромок при разных вероятностях разрушения и может служить основой для решения задач по оптимизации материально-технических затрат в машиностроении.

ВЫВОДЫ

Апробирована предложенная методика сканирования кромок нагруженным пуансоном на образцах твердого сплава ВК8 с различно модифициро-

ванными рабочими поверхностями. Для оценки повреждаемости кромок твердосплавных пластин при локальных нагрузениях использован ряд эмпирических параметров.

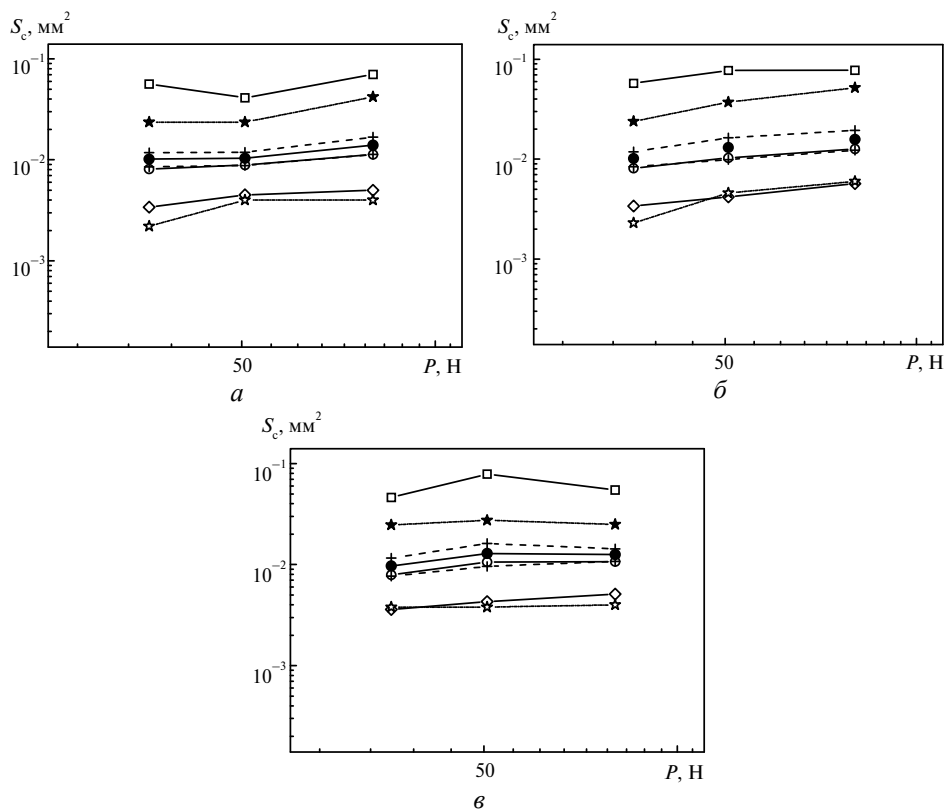


Рис. 6. Диаграммы зависимостей S_c - P , построенные по результатам статистической обработки результатов испытаний на сканирование кромки образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в) твердого сплава ВК8 при вероятности их разрушения $F = 0,01$ (\square), $0,50$ (\circ) и $0,99$ (\diamond): минимальные (\star) и максимальные (\star) значения S_c ; средние значения (\bullet) и границы доверительных интервалов ($+$) S_c .

Показано влияние дополнительной магнитно-абразивной обработки материала на повреждаемость кромок, а также характер ее изменения при увеличении приложенной нагрузки.

На основании статистической обработки результатов испытаний по Вейбуллу получены обоснованные значения повреждаемости кромки при разных уровнях вероятности, что позволило повысить достоверность прогноза работоспособности твердосплавных пластин.

Показано, что в общем случае распределения могут быть рассмотрены как мономодальные. Для более точного описания эмпирических данных, что соответствуют низким значениям вероятности разрушения (случаи образования крупных сколов), предложено использовать кусочно-линейную аппроксимацию экспериментальных зависимостей распределения Вейбулла.

Полученные результаты экспериментальной оценки повреждаемости кромок пластин из твердых сплавов дают возможность более эффективно использовать методы модификации поверхности для повышения эксплуатационных характеристик режущих инструментов.

Представленные результаты настоящей работы были получены совместно с Ю. М. Родичевым, Е. Б. Сорокой и В. С. Майбородой.

Експериментально досліджено пошкоджуваність кромок твердосплавного різального інструменту при локальних контактних навантаженнях. Використано різні параметри оцінки пошкоджуваності матеріалів і показано закономірності їх зміни в залежності від методів модифікації поверхні пластин твердого сплаву та рівня прикладеного навантаження. Проведено статистичну обробку результатів випробувань з використанням розподілу Вейбулла.

Ключові слова: твердий сплав, локальне контактне навантаження, пошкоджуваність кромки, параметр пошкоджуваності, розподіл Вейбулла.

An experimental study of the edge damageability of hard metal cutting tool under the local contact loading was performed. The assessment parameters of the damageability materials were used and the patterns of their changes in dependence on the methods of surface modification of hard metal plates and level of applied load were shown. The statistical analysis of the test results by using the Weibull distribution was made.

Keywords: hard metal, local contact loading, edge damageability, parameter of damageability, Weibull distribution.

1. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
2. Сакулевич Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.
3. Майборода В. С., Ивановский О. А. Дослідження впливу в'язкості змащувально-охолоджуючого технологічного середовища на властивості магнітно-абразивного інструменту // Вестник НТУУ "КПІ". Машиностроение. – 2004. – Вып. 45. – С. 99–102.
4. Майборода В. С., Джулий Д. Ю. Влияние условий магнитно-абразивной обработки в больших рабочих зазорах кольцевого типа на качество многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. праць (Краматорськ). – 2011. – Вип. 28. – С. 48–54.
5. Родичев Ю. М., Сорока Е. Б., Шабетя А. А. и др. Оценка локальной прочности и повреждаемости хрупких материалов по параметрам статистического распределения экспериментальных данных // Вісн. Тернопільського нац. техн. ун-ту. – 2013. – № 4. – С. 161–173.
6. Veer F. A., Rodichev Yu. M. The structural strength of glass: hidden damage // Пробл. прочности. – 2011. – № 3. – С. 93–109.
7. Dobson B. The Weibull analysis handbook. – ASQ Quality Press, 2006. – 167 p.
8. McCormick N., Almond E. Edge flaking of brittle materials // J. Hard Mater. – 1990. – 1. – P. 25–51.
9. Quinn J., Su L., Flanders L., Lloyd I. Edge toughness and material properties related to the machining of dental ceramics // Mach. Sci. Techn. – 2000. – 4. – P. 291–304.
10. Petit F., Vandeneede V., Cambier F. Ceramic toughness assessment through edge chipping measurements – Influence of interfacial friction // J. Eur. Ceram. Soc. – 2009. – 29. – P. 2135–2141.
11. Gogotsi G. A., Galenko V. I., Mudrik S. P. et al. Fracture resistance estimation of elastic ceramics in edge flaking: EF baseline // Ibid. – 2010. – 30. – P. 1223–1228.
12. Mohajerani A., Spelt J. K. Edge chipping of borosilicate glass by blunt indentation // Mech. Mat. – 2010. – 42. – P. 1064–1080.

Ин-т проблем прочности
им. Г. С. Писаренка НАН Украины

Поступила 20.06.14