

УДК 621.9

В. И. Лавриненко (г. Киев)
В. Ю. Солод (г. Днепродзержинск)
Б. В. Сытник, А. А. Девицкий, Ю. И. Никитин,
В. Г. Полторацкий, О. О. Пасичный,
В. А. Скрябин (г. Киев)

Исследование возможностей эффективного использования минеральных зернистых концентратов в качестве опорных элементов в рабочем слое алмазных кругов

Представлено исследование возможностей эффективного использования опорных элементов в рабочем слое алмазных кругов в виде природных минеральных зернистых концентратов для повышения эксплуатационных характеристик кругов в процессах шлифования.

***Ключевые слова:** опорный элемент, рабочий слой, шлифовальный круг, рутил, ставролит, ильменит, циркон, дистен, кварц, алмаз.*

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Известно [1, 2], что при обработке кругами из сверхтвердых материалов (СТМ) резание осуществляет относительно небольшая часть зерен СТМ, находящихся на рабочей поверхности круга, и существует большая вероятность непосредственного контакта связки рабочего слоя круга с обрабатываемой поверхностью. Во многих случаях этот контакт не позволяет достичь повышения необходимых эксплуатационных характеристик шлифовальных кругов. Как правило, избежать контакта можно модифицированием или сменой связующего.

Вместе с тем, как было показано авторами ранее [3], возможен и другой подход к решению этой проблемы. В этом случае необходимо изменять не состав связующего, хотя и последний вариант не исключается, а использовать стандартные, применительно к конкретным условиям обработки, связующие и при этом часть зерен СТМ заменять на так называемые “опорные элементы”, основная функция которых – не допустить контакта связки рабочего слоя круга с обрабатываемой поверхностью. Это фактически разработка абразивного инструмента с дискретным режущим слоем, в котором находятся режущие зерна и функциональные опорные твердые включения. В [3] приведены исследования влияния на эксплуатационные характеристики круга чередования в его рабочем слое режущих зерен и опорных элементов из СТМ функционального назначения. Вместе с тем для снижения себестоимости кругов из СТМ следует рассмотреть и другие абразивные наполнители, которые могли бы при различных условиях обработки выполнять соответствующую функцию – теплоотвода, снижения трения и т. п.

В этом направлении уже были проведены некоторые исследования. Так, авторы [4] вводили в структуру шлифовального круга, наряду с абразивными

зернами и керамической связкой, электрокорундовые (Al_2O_3) сферические частички. В [5] как опорный элемент использовали зерна, состоящие из белого плавящего глинозема и стеклоподобного связующего.

Вместе с тем в Украине есть природное минеральное сырье – минеральные зернистые концентраты, в том числе с содержанием Al_2O_3 , которые могут быть применены в качестве опорных элементов. В данной работе исследовали возможность эффективного использования зернистых минеральных концентратов в шлифовальном инструменте из СТМ в качестве опорных элементов в рабочем слое кругов из СТМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

К природному минеральному сырью, потенциально обладающему абразивными свойствами, относятся титано-цирконовые минералы и кварц – продукты переработки титано-цирконовой руды на Вольногорском горно-металлургическом комбинате Днепропетровской области (Украина). В последнее время значительно увеличено извлечение и повышено качество концентратов: рутилового, ставролитового, ильменитового, цирконового, кварцевого и дистен-силлиманитового. Эти концентраты, в силу своей сравнительно невысокой стоимости, пользуются большим спросом в Украине и за рубежом, в частности, в России.

Основной состав и некоторые физико-механические характеристики минеральных концентратов (для зернистости 160/125) приведены в табл. 1. Видно, что в целом зернистые концентраты имеют скругленную овальную форму со значением коэффициента формы для всех порошков в пределах от 1,35 до 1,46. Это свидетельствует о том, что такие порошки, хотя их прочность находится на уровне прочности зерен шлифпорошков из эльбора марки ЛО, применять для съема обрабатываемого материала нецелесообразно, но вполне реально использовать их в качестве опорных элементов. Кроме того, анализ табл. 1 показывает, что по своим прочностным свойствам минеральные концентраты условно можно разделить на три группы:

- малопрочные (разрушающая нагрузка – 2,0–2,2 Н), не содержат кварца – рутил, ильменит и дистен;
- средней прочности (разрушающая нагрузка – 2,8–3,0 Н), содержат кварц – циркон и ставролит;
- повышенной прочности (разрушающая нагрузка – 3,7 Н) – собственно сам кварц.



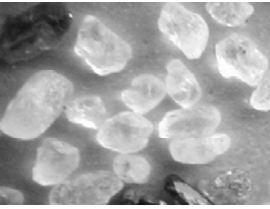
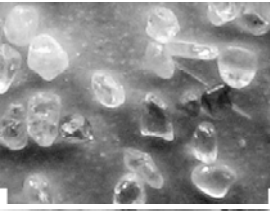

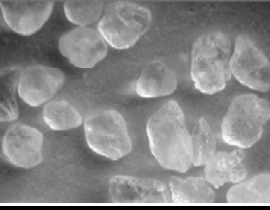
Такое деление хотя и является условным, однако проявится и при исследовании эксплуатационных характеристик кругов, содержащих указанные выше концентраты. Анализ зернистости концентратов и удельной поверхности зерен показал четкое соответствие этих величин между собой для всех указанных выше концентратов, кроме рутилового, для которого удельная поверхность является меньшей ожидаемой, что говорит о большей величине скругленности зерен данного концентрата в сравнении с другими.

Указанные выше три группы достаточно четко проявляются при исследовании зависимости твердости минералов по Моосу от прочности (разрушающей нагрузки) зерен их порошков (рис. 1).

Анализ данных табл. 1 и рис. 1 позволяет сделать вывод, что только ставролит, циркон и кварц (группы 2 и 3), в силу их высокой твердости и прочности по сравнению с другими порошками, можно рассматривать как возможную альтернативу алмазам или кубониту для применения в алмазно-абразивных кругах при обработке закаленных сталей, твердых сплавов и дру-

гих труднообрабатываемых материалов. Вместе с тем даже для кварца (группа 3) такая перспектива не является достаточно реальной, поскольку зерна концентратов являются слишком округленными (см. табл. 1). В то же время концентраты группы 1 можно использовать как опорные элементы в рабочем слое алмазных кругов с частичной (до 25 %) заменой алмазов.

Таблица 1. Физико-механические характеристики минеральных зернистых концентратов

Концентрат	Общий вид	Характеристика		
		твёрдость по Моосу	плотность, г/см ³	разрушающая нагрузка, Н
Рутиловый (TiO ₂)		6,0	4,15–4,30	2,0
Ильменитовый (Fe ₂ O ₃ ·TiO ₂)		5,5–6,5	4,12–4,17	2,1
Дистен-силлиманитовый Al ₂ [SiO ₄]O		5,5–7,0	3,20–3,50	2,2
Цирконовый Zr[SiO ₄]		7,5	4,50–4,65	2,8
Ставролитовый (Fe ₂ Al ₉ [SiO ₄]O ₇ (OH))		7,5	3,60–3,75	3,0
Кварцевый (SiO ₂)		7,25	2,65	3,7

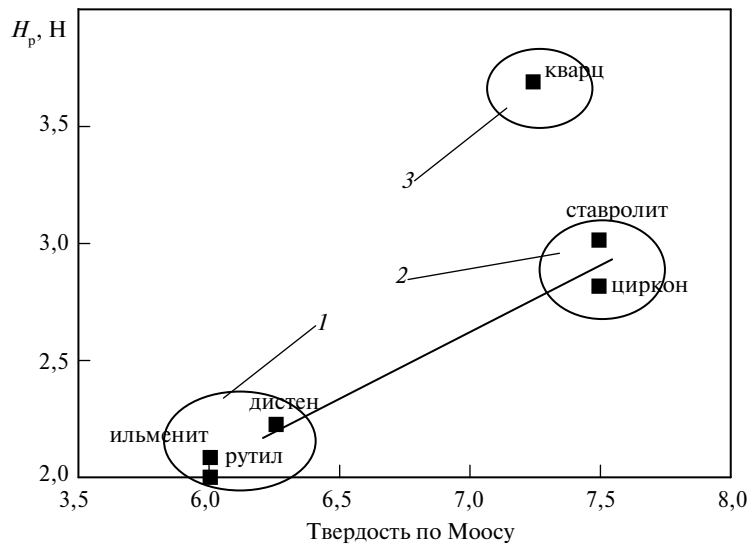


Рис. 1. Распределение минеральных зернистых концентратов по группам в зависимости от их твердости по Моосу и прочности.

Для проверки изложенных выше предположений были изготовлены алмазные круги формы 12A2-45° 125×5×3×32 AC6 125/100 B2-08 с заменой 25 % алмазов минеральными зернистыми концентратами и проведены испытания их работоспособности при шлифовании твердого сплава марки Т15К6 без охлаждения с производительностью 500 мм³/мин. Результаты исследований износостойкости алмазных кругов приведены на рис. 2.

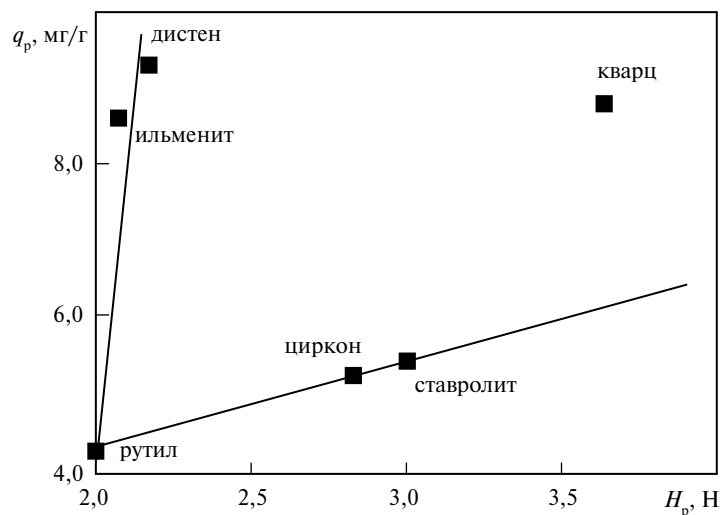


Рис. 2. Изменение износостойкости алмазных шлифовальных кругов при добавлении в рабочий слой круга зернистых концентратов.

Анализ данных рис. 2 показывает, что и в этом случае можно наблюдать разделение на отдельные группы кругов с добавкой указанных выше концентратов. При этом рутил является своеобразной точкой отсчета и имеет наиболее положительное влияние на износостойкость кругов. Введение малопрочных концентратов (ильменита и дистена) достаточно резко снижает износостойкость кругов.

стойкость кругов, в то время как использование второй группы концентратов (циркона и ставролита) понижает износостойкость в меньшей степени. И в этом случае круги, содержащие кварц, выделяются в отдельную группу и, хотя кварц имеет наибольшую твердость и разрушающую нагрузку, тем не менее, снижает износостойкость круга.

При проведении исследований использовали достаточной широкий диапазон составов зернистых концентратов с содержанием соединений (преимущественно в виде оксидов) титана, циркония, алюминия, железа, кремния в рабочем слое кругов, поэтому представляло интерес изучение напряженности процесса шлифования кругами с применением таких материалов. Для этого оценивали остаточную напряженность продуктов обработки (твердого сплава Т15К6) по методике [6].

Исследования проводили при шлифовании твердого сплава Т15К6 без охлаждения алмазными шлифовальными кругами, в рабочем слое которых 25 % алмазов были заменены на абразивные концентраты. Напряженность электрического поля измеряли измерителем параметров электростатического поля ИПЭП-1 (Беларусь) (рис. 3). Зависимости на рис. 2 и 3 имеют идентичный вид, т. е. наблюдается определенная связь (корреляция) между износостойкостью и напряженностью – большей износостойкости соответствует меньшая энергонапряженность, за исключением такого концентрата как кварц, который требует отдельного исследования.

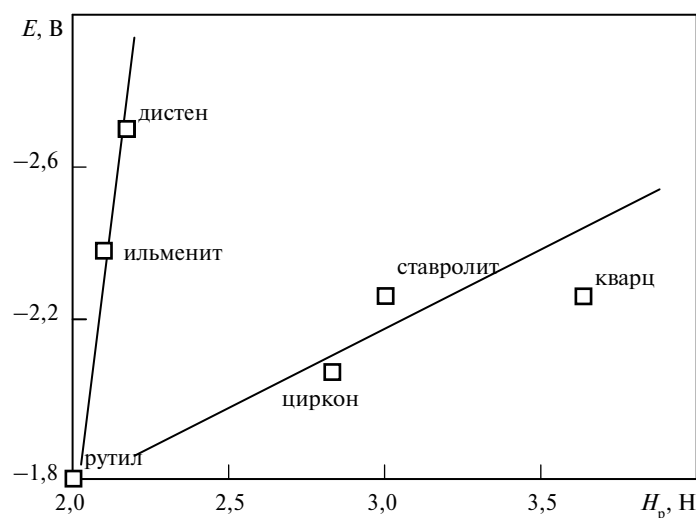


Рис. 3. Изменение остаточной напряженности продуктов обработки из твердого сплава марки Т15К6 при использовании алмазных шлифовальных кругов с добавкой в рабочий слой круга зернистых концентратов.

Анализ физических характеристик (см. рис. 1), износостойкости (см. рис. 2) и напряженности (см. рис. 3) показывает, что для замены части алмазов в рабочем слое шлифовальных кругов на опорные элементы необходимо использовать рутил.

Для проверки данного утверждения были проведены оценочные исследования напряженности процесса шлифования твердого сплава марки Т15К6 с различной производительностью двумя кругами с рабочими слоями АС6 125/100 100 В2-08 и АС6 125/100 75 + Рутил 25 В2-08 (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что с увеличением производительности обработки напряженность растет, но при этом наличие рутила в рабочем слое приводит к

ее снижению, а значит к уменьшению износа кругов по сравнению с алмазными кругами без добавки рутила. Была исследована износостойкость указанных выше кругов при шлифовании твердого сплава Т15К6 с производительностью 500 мм³/мин (поперечная подача – 0,1 мм/дв.ход) без охлаждения. Эксперименты показали, что относительный расход алмазов в алмазном слое без рутила – 8,37 мг/г, а с содержанием рутила – 6,89 мг/г, что подтвердило данные табл. 2.

Таблица 2. Остаточная напряженность продуктов шлифования твердого сплава Т15К6

Производительность шлифования, мм ³ /мин	Остаточная напряженность, кВ/м, после шлифования кругами	
	АС6 125/100 100 В2-08	АС6 125/100 75 + Рутил 25 В2-08
100	-0,6	-0,2
200	-1,1	-0,9
300	-1,4	-1,3
400	-1,9	-1,6
500	-2,1	-1,8

Рассмотрим изменение шероховатости поверхности при обработке кругами с добавкой различных зернистых концентратов. Учитывая их овализованную форму (см. табл. 1), логично было бы предположить, что шероховатость обработанной поверхности будет ниже. Для проверки этого предположения были изготовлены четыре шлифовальных круга формы 12А2-45° 100×5×3×32 на связке В2-01 со 100 %-ной относительной концентрацией в рабочем слое шлифпорошков зернистости 100/80: кубонита КР, кварца, циркона и ставролита. Исследования, проведенные при шлифовании стали марки Р6М5, показали, что при доводочной производительности обработки равной 100 мм³/мин шероховатость *Ra*, мкм, поверхности, обработанной кругом из кубонита – 0,24–0,25, кварца – 0,21–0,23, циркона – 0,16–0,18, ставролита – 0,11–0,13. То есть только круги из ставролита и циркона ощутимо снижают шероховатость, в отличие от кругов из наиболее твердого концентрата – кварца, которые обрабатывают поверхность с шероховатостью близкой к полученной при обработке кругами из кубонита. Дальнейшее повышение производительности приводит к прижогам при использовании кругов из концентратов (даже кварца), поэтому прямое использование таких материалов в качестве абразивных нецелесообразно, а как указано выше, их нужно применять для частичной замены зерен СТМ в качестве опорных элементов.

Шероховатость обрабатываемых поверхностей (рис. 4) контролировали с помощью профилометра-профилографа модели SurfTest SJ-201 фирмы “Mitutoyo” (Япония), подключенного к компьютеру.

Анализируя рис. 4, минеральные концентраты можно также распределить по трем группам. Однако эти группы отличаются от групп, выделенных на основании исследования прочностных свойств (см. табл. 1); их образуют другие сочетания концентратов, хотя и есть определенные аналогии. Как для группы малопрочных (ильменит, дистен), так и для группы средней прочности (циркон, ставролит) концентратов с повышением прочности шероховатость растет. Причем кварц логично вписывается в общую тенденцию изменения прочности, что подтверждается и изложенными выше данными по шероховатости в сравнении с кругами из кубонита, но не вписывается рутил,

который имеет среднее значение параметра Ra . Таким образом, в данном случае имеем такие три группы концентратов:

- дистен, кварц (в эту группу включены и данные для алмазного круга без добавок) ($Ra = 0,65–0,67$ мкм);
- ильменит, ставролит и циркон ($Ra = 0,51–0,55$ мкм);
- промежуточный – рутил ($Ra = 0,62$ мкм).

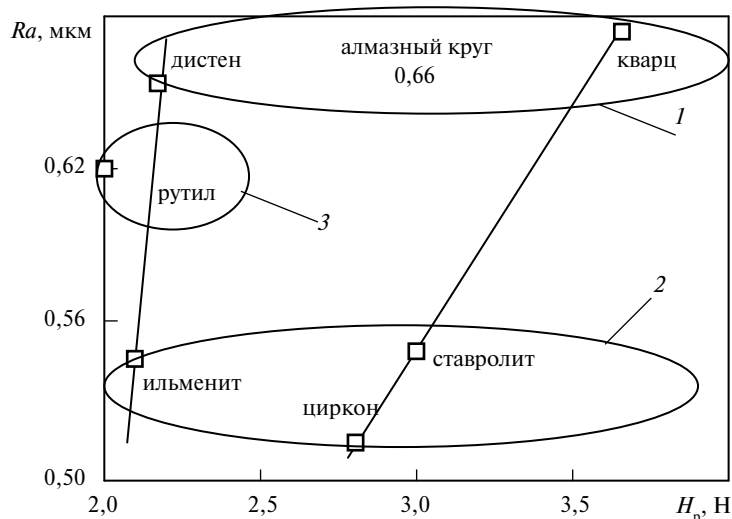


Рис. 4. Шероховатость обработанной поверхности твердого сплава марки Т15К6 при его шлифовании с производительностью $500 \text{ мм}^3/\text{мин}$ при использовании алмазных шлифовальных кругов с добавкой в рабочий слой круга зернистых концентратов.

Исходя из выше приведенных свойств рутила, именно он, по мнению авторов, является наиболее подходящим из всех рассмотренных концентратов для использования в виде опорных элементов. Подтверждением этому является микрогеометрия шероховатого слоя после обработки алмазным кругом с содержанием рутила (рис. 5, а) и, например, ильменита (рис. 5, б). Профилограммы поверхности после шлифования кругами с частичной заменой алмазов на зернистые концентраты (см. рис. 5, б), кроме рутила, и стандартными алмазными кругами идентичны, а при шлифовании кругами с добавкой рутила поверхность приобретает вид (см. рис. 5, а), характерный для шлифования кругами с наличием опорных элементов в рабочем слое круга.

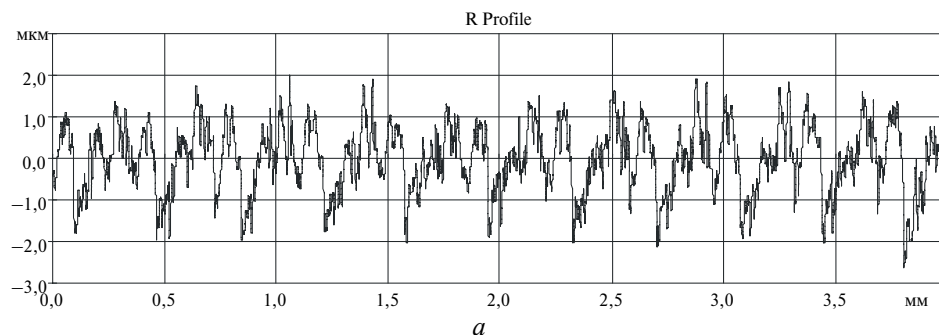


Рис. 5. Профилограмма поверхности после шлифования алмазными кругами с частичной заменой алмазов зернистыми концентратами – рутилом (а) и ильменитом (б).

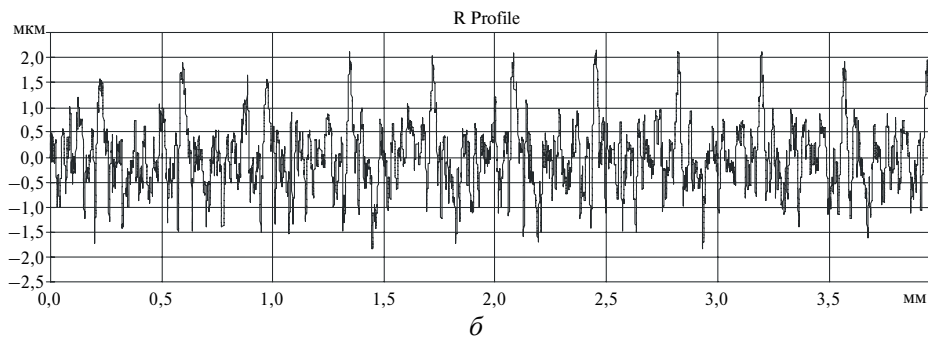


Рис. 5. (Продолжение).

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлено, что в качестве опорных элементов в рабочем слое круга могут быть использованы зернистые минеральные концентраты украинского производства – рутиловые. Установлено, что использование их в виде частичной (25 %) замены алмазов позволяет повысить износостойкость алмазных кругов и получить необычный микропрофиль обработанной поверхности, который невозможно достичь стандартными алмазными кругами. Кроме того, добавка этих природных зернистых порошков в связку алмазно-абразивных кругов позволяет получить значительную (до 25 %) экономию сверхтвердых материалов (алмазов и кубонита) и тем самым снизить стоимость этих кругов, что существенно влияет на технико-экономические показатели механической обработки, а также повысить качество обработанных поверхностей.

Представлено дослідження можливостей ефективного використання опорних елементів в робочому шарі алмазних кругів у вигляді природних мінеральних зернистих концентратів для підвищення експлуатаційних характеристик кругів в процесах шліфування.

Ключові слова: опорний елемент, робочий шар, шліфувальний круг, рутит, ставроліт, ільменіт, циркон, дистен, кварц, алмаз.

The authors look into the potentiality efficiently using natural mineral grain concentrates as bearing elements in the abrasive layer of diamond wheels in order to improve their performance in grinding operations.

Keywords: bearing element, working layer, grinding wheel, rutile, staurolite, ilmenite, zircon, disthene, quartz, diamond.

1. Лаврінченко В. І., Ткач В. Н., Ситник Б. В., Пасичный О. О. Технологические аспекты изменения структурной ориентации рабочего слоя кругов из СТМ // Сверхтв. материалы. – 2008. – № 2. – С. 87–91.
2. Лаврінченко В. І., Скрябін В. О., Ситник Б. В. та ін. Дослідження впливу плазмової обробки на різальну поверхню шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів // Там само. – 2010. – № 5. – С. 81–87.
3. Лаврінченко В. І., Солод В. Ю., Ситник Б. В., Нікітін Ю. І. Застосування опорних елементів в структурі робочого шару кругів з НТМ для підвищення їх експлуатаційних показників // Там само. – 2011. – № 1. – С. – .
4. А. с. 1073082 СССР. Шлифовальный круг / Московский станкоинструментальный институт и Институт высоких температур АН СССР; И. П. Третьяков, В. Н. Тимофеев, Б. П. Кудряшов, В. Т. Ивашинников. – Оупбл. 1984, Бюл. № 6.

5. Пат. 4385907 США. Шліфувальний круг з опорним елементом з теплоізоляційного матеріалу / Toyota Koki Kabushiki Kaisa; Т. Tomita, І. Suzuki, Т. Imai, М. Kitajima. – Оубл. 31.05.83.
6. Лаврінєнко В. І., Дєвицький О. А., Ситник Б. В. и др. Електричні явища при абразивній обробці кругами зі склопокриттями та модифікаційними домішками // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 9-й межд. науч.-практ. конф., г. Ялта, 21–25 сент. 2009 г.,– Киев: АТМ України, 2009. – С. 100–103.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины
Днепродзержинский государственный
технический ун-т

Поступила 02.02.11