

# РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

УДК 621.762.065:536.2

## СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕЛЬНИЦ УДАРНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ TiC-TiNi

В.В. Акимов, А.И. Громовик, А.Ю. Грязнов  
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

**Аннотация.** В работе рассматривается получение композиционных материалов на основе тугоплавкого соединения TiC с переходным сплавом из никелида титана, который обладает высоким уровнем демпфирования. Применение данного связующего материала позволяет существенно повысить теплостойкость, прочность, пластичность, и тем самым абразивную износостойкость бил дезинтеграторных установок в процессе эксплуатации. Для условий дорожного строительства наиболее пригодным является сверхтонкое измельчение смеси, как наиболее производительный и менее энергоемкий процесс. Достоинством данного типа измельчительных установок является их сравнительная компактность.

**Ключевые слова:** композиционный материал TiC+TiNi, теплостойкость, износостойкость, дезинтеграторные билы, измельчение строительных смесей.

### ВВЕДЕНИЕ

В работе представлена разработка твердых безвольфрамовых сплавов типа тугоплавкое соединение (TiC) – переходной сплавов (TiNi). В качестве связующей фазы использовали интерметаллидный сплав TiNi, обладающий высоким уровнем демпфирования.

Применение такого связующего материала позволяет существенно повысить прочность, твердость, теплостойкость, абразивную износостойкость бил дезинтеграторных установок в процессе их эксплуатации при измельчении минеральных порошков из карбонатных пород. Чаще всего используется прошедшая через сушильные барабаны часть песчаной фракции минеральной составляющей асфальтобетонной смеси, измельченной в мельнице. Это предложение было внедрено в ряде дорожных организаций различных областей РФ путем оснащения смесительных установок мельницами дезинтеграторного типа, которые выпускались ВНПФ ГИЛМ (г. Омск) [1].

Мельницы этого типа обусловлены рядом достоинств: компактностью, низкими удельными энергозатратами, способностью в процессе помола активировать кремнеземсодержащие

породы. Однако длительная эксплуатация подобных измельчительных мельниц выявила недостатки, заключающиеся в ограниченном сроке службы рабочих элементов – билов. Одной из причин этого недостатка является высокие температурные воздействия в процессе помола на рабочие элементы дезинтеграторной установки. С учетом ударного воздействия при измельчаемом и измельчающем материалах развиваются температуры около 1000 °C [2,3]. Эти явления и провоцируют развитие абразивного износа, которое обуславливается, прежде всего, низкой теплостойкостью материала применяемого для изготовления бил дезинтегратора.

Оценить твердость и теплостойкость твердых сплавов на основе TiC можно при нагреве от комнатной температуры до 820 °C, выдержке при этой температуре в течении 4 часов с последующим охлаждением образцов материалов и сравнением их с теплостойкостью быстрорежущих сталей P18, P6M5, и твердого сплава BK8, находящихся при одинаковых условиях.

При исследовании абразивного изнашивания в настоящее время накоплен значительный практический и экспериментальный опыт, зависящий от большого числа факторов.

Таблица 1 – Изменение твердости сплавов TiC-TiNi

| Состав сплава, об % | Температура нагрева сплава, °С |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                     | 100                            | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 500  | 600  | 700 |
|                     | Твердость сплава (HRA)         |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 60TiC – 40TiNi      | 82,8                           | 80   | 76,7 | 74,7 | 74   | 69,3 | 66,3 | 65,3 | 65,2 | 61  |
| 50TiC-50TiNi        | 84,7                           | 81,5 | 79   | 77,5 | 75,5 | 73,5 | 68,5 | 65,2 | 63,3 | 62  |
| 40TiC-60TiNi        | 83,6                           | 82   | 80,3 | 80   | 76,3 | 74,6 | 71,5 | 68   | 66,6 | 63  |

И.В. Крагельский считает, что к числу основных факторов износа можно отнести: величину удельного давления абразива на материал, соотношение поверхностной твердости абразива и материала, величину температуры материалов, степени кусковатости абразива, объем и геометрию поверхности изнашиваемого материала [4,5].

Анализируя перечисленные факторы можно выделить два направления снижения износа рабочих элемента дезинтеграторных мельниц.

Первое направление представляет выбор материала рабочих элементов мельниц (пальцев, дисков, втулок) изготовленных из отбеленных чугунов и сталей, легированных марганцем – 110Г13 (Г14; Х14Г14НЗТ).

Другое направление – это создание материала с более высокой абразивной стойкостью – металлокерамика.

Новые твердосплавные композиционные материалы (ТСКМ) должны иметь комплекс физико-механических и триботехнических свойств, которые должны быть равными или превосходить показатели, применяемые в промышленности ТСКМ. На практике широкое применение получили композиционные материалы с дисперсными твердыми частицами в достаточно мягкой матрице [6,7]. Известно, что твердые частицы в твердых сплавах повышают твердость и прочность, а связующая фаза придает матрице вязкость и пластичность [8].

**Экспериментальные результаты.** Исследуемые образцы твердых сплавов готовили из смеси спрессованных порошков карбида титана и никелида титана с добавлением 6% раствора каучука в чистом бензине. Размер исходных частиц карбида титана составляет от 1 до 5 мкм, никелида титана от 1 до 50 мкм. Образцы получили холодным односторонним

прессованием при давлении не более 100-200 МПа. Вакуумное спекание проводили в печи СШВ 1,25/25-UIPOO при давлении  $7 \times 10^{-2}$  Па и температуре 1300 °С в течении (10-30) минут с последующим охлаждением.

Объемное содержание связующей фазы TiNi изменяли в пределах от 40 до 60 (об %). Пористость спеченного материала определяли гидростатическим методом, которая составляла 2-3% со средним размером зерна карбида титана (3-5) мкм. Фазовый состав образцов определяли на рентгеновой установке «ДРОН – 3,0» с фильтрованным медным излучением, который показал наличие трех фаз:

TiC, TiNi, TiNi<sub>3</sub>. Содержание фазы TiNi<sub>3</sub> было небольшим. Шероховатость поверхности образцов составляла  $\sqrt{Ra 1,25 - 0,63}$  [9].

Твердость образцов при комнатной температуре составляла (86-87) HRA. Изменение твердости после термической обработки при определенной температуре проводили пять раз на одном образце, потом вычислили среднюю твердость (табл.1).

Нагрев образцов твердых безвольфрамовых сплавов проводили в печи СНО – 2,55.1,77/12, измерение температуры проводили контактным методом термопарой «хромель-алюмель» на столике прибора определения твердости по Роквеллу. Потом в образец внедряли алмазный конус при нагрузке весом в 60 кг, продолжительностью 20 с, с последующим снятием нагрузки и определением твердости HRA твердого сплава на приборе Роквелла по шкале А.

**Обсуждение результатов.** В табл.1 представлены результаты измерения твердости сплавов. Видно, что происходит монотонное снижение твердости от HRA 86 до HRA (61-63)

Таблица 2 – Твердость сплавов после нагревания и 4-х часовой выдержки в печи

| Условия испытаний | 50TiC-50TiNi | Сталь P18 | Сталь P6M5 | Сплав BK8 |
|-------------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| 620 °C            | 86HRA        | 57HRC     | 56HRC      | 91HRA     |
| 820 °C            | 86HRA        | -         | -          | -         |

Таблица 3 – Изменение массы твердых сплавов и быстрорежущих сталей при нагревании с 4-х часовой выдержкой

|  | Сплав 50TiC – 50TiNi | Сталь P18 | Сталь P6M5 | Сплав BK8 |
|--|----------------------|-----------|------------|-----------|
| Изменение массы после нагрева до 620 °C, 10 <sup>-3</sup> кг | 0                    | 0,01      | 0,02       | 0,03      |
| Изменение массы после нагрева до 820 °C, 10 <sup>-3</sup> кг | 0,04                 | -         | -          | 2,50      |

различных составов при изменении температуры от 100 до 700 °C [10].

Спеченные твердые сплавы не содержат кислорода, поэтому можно утверждать, что в процессе нагрева до (700-850) °C происходит упорядочение в связующей фазе TiNi структуры с утроенным параметром решетки CsCl. Это приводит к снижению твердости сплавов TiC – TiNi примерно на 20 HRA (табл.1). Аналогичные результаты были получены при анализе изменения твердости в сплавах BK8 при нагреве до 700 °C.

Теплостойкость сплавов TiC – TiNi, быстрорежущей стали марок P18 и P6M5, твердых сплавов BK8 определяли следующим образом. Образцы материалов нагревали до 620 °C или до 820 °C, с выдерживанием в печи в течении 4 ч, охлаждая вместе с печью до комнатной температуры. Твердость измеряли по Роквеллу (твердые сплавы по шкале HRA быстрорежущей стали по шкале HRC) и сравнивали ее с исходной.

Как показали исследования (табл. 2) твердость сплавов TiC – TiNi оставалась неизменной, тоже самое наблюдается и у твердых сплавов BK8, а твердость быстрорежущей стали P18 и P6M5 снизилась с (64-65) HRC до (56-57) HRC. Очевидно, что в быстрорежущей стали прошли процессы разупрочнения [11].

Экспериментальные результаты показали также, что в композиционных материалах TiC – TiNi не протекает процесс окисления при нагреве до 620 °C и наблюдается небольшой

прирост массы образцов в процессе нагрева до 820 °C, примерно на 0,04·10<sup>-3</sup> кг (табл.3). Твердые сплавы BK8 сильно окислились и разбухли, прирост массы образцов для них составил 2,5·10<sup>-3</sup> кг (табл. 3). Произошло окисление связующей Co фазы, что привело к разупрочнению материала. В сплавах же на основе карбида титана твердость полностью сохранилась, разупрочнение материала не произошло (табл. 2).

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что твердые сплавы на основе TiC со связующей фазой из никелида титана обладают достаточно высокой теплостойкостью до 820 °C. Поэтому можно использовать разработанные сплавы для изготовления дезинтегральных бил, работающих в условиях интенсивного износа и значительных динамических нагрузок с уменьшением абразивного износа при температурах до 1000 °C.

Перспективным способом повышения прочности и твердости дезинтеграторных бил выбран наиболее доступный механический метод упрочнения твердых композитов – ТМО (термомеханическая обработка). При деформации твердосплавного композиционного материала (ТСКМ) происходит изменение микротвердости образцов. Причем глубина слоя, в котором происходит изменение свойств достаточно большая (1,5...2 мм) [8]. ТМО втулок с внутренним диаметром 17 мм, внешним ди-

аметром 25 мм и высотой 30 мм из сплавов состава (50TiC – 40TiNi – 10Ti) об.% и (50TiC – 50TiNi) об.%, выполнялась на лабораторной установке [12].

Обкатанные и упрочненные твердосплавные материалы в виде рабочих элементов измельчительной установки показали снижение абразивного износа при получении порошков из кварцевых песков почти в 1,5-2 раза, по сравнению с рабочими элементами, изготовленными из стали 40, 45, 110Г13.

Деформационный характер упрочнения биллов подтверждается тем, что оно снижается отжигом при 1100 °С в течении 2 ч. Микротвердость отожженных биллов снижается до микротвердости исходных материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокопец, В.С. Увеличение работоспособности мельниц ударного действия с применением повышенной теплостойкости / В.С. Прокопец, В.В. Акимов // Башкирский химический журнал. – 2005. – Т.12. – №3. – С.81-83.
2. Хайнике, Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584с.
3. Молчанов, В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнев, Е.Н. Жирнов. – М.: Недры, 1988. – 208с.
4. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. Клеймс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клеймс, Х.Х. Удэмыйс. – М.: Машиностроение. – 1986. – 160 с.

6. Андриевский, Р.А. Наноккомпозиты на основе тугоплавких соединений: состояние разработок и перспективы / Р.А. Андриевский // Материаловедение. – 2006. – №4. – С. 20-26.

7. Панов, В.С. Твердые сплавы WC-Co, легированные карбидом тантала. Обзор / В.С. Панов, А.А. Зайцев // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – №2. – С. 44-48.

8. Орданьян, С.С. Жаростойкость и жаропрочность легированных твердых сплавов WC-Co-Ni-RE(MN) / С.С. Орданьян, И.Б. Пантелеев, Т.В. Лукашова // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2010. – №2. – С. 23-25.

9. Акимов, В.В. Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC-TiNi / В.В. Акимов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – №6. – С.33-35.

10. Акимов, В.В. Жаростойкость безвольфрамовых твердых сплавов TiC- TiNi в зависимости от объемного состава композиции при нагреве до высоких температур / В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, Е.В. Акимова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т.59. – № 10. – С. 688-691.

11. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер – М: Металлургия. – 1975. – 580с.

12. Термомеханическое упрочнение твердосплавных пластин, используемых для обточки колесных пар / А.Ю. Попов, Н.Г. Васильев, А.А. Рауба // Железнодорожный транспорт Сибири: проблемы и перспективы: Тех. доклад научн. практ. конф. – Омск, 1989. – С.83.

## DECREASE IN ABRASIVE WEAR OF ELEMENTS OF MILLS OF SHOCK AND INTEGRATED ACTION WITH USE OF SOLID BEZVOLFRAMOVY TIC-TINI ALLOYS

V.V. Akimov, A.I. Gromovik, A.Yu. Grjaznov

**Abstract.** In this work receiving composite materials on the basis of refractory connection – transitional alloy from a nikelid of the titan is considered. TiNi alloy has the high level of damping. Use of this binding material allows to increase significantly heat resistance, durability, plasticity and by that abrasive wear resistance the dezintegratornykh of installations in use beat. For conditions of road construction by the most suitable superthin crushing of mix as the most productive and less power-intensive process is. The izmelchitelnykh of installations is the advantage of this type their comparative compactness.

**Keywords:** composite material, heat resistance, wear resistance, dezintegratorny bila, crushing.

#### REFERENCES

1. V.S. Prokopets, V.V. Akimov. Increase in op-

erability of mills of shock action with application of the raised heat resistance. Bashkir chemical magazine, 2005, T.12, No. 3, pp. 81-83.

2. Haynike G. Tribokhimiya, M.: World, 1987, 584 pages.

3. Molchanov V.I., Seleznyov O.G., Zhirnov E.N. Activation of minerals when crushing, M.: Not Wad Dra, 1988, 208 pages.

4. Kragelsky I. V. Friction and wear. M.: Iashinostroyeniye, 1968, 480 pages.

5. Claims I.R., Udemys H. H. Iznosostoykost of elements of grinders of shock action. M.: Mechanical engineering, 1986, 160 pages.

6. Andrievsky, R.A. Nanocomposites on the basis of refractory connections: condition of developments and prospect. Materials science, 2006, No. 4, pp. 20-26.

7. V.S. Panov, A.A. Zaytsev. The solid WC-Co alloys alloyed by tantalum carbide. Obzor. Powder metallurgy and functional coverings, 2015, No. 2, pp. 44-48.

8. S.S. Ordanyan, I.B. Panteleev, T.V. Lukashova. Heat resistance and thermal stability of the alloyed solid WC-Co-Ni-RE (MN) alloys. Powder metallurgy and functional coverings, 2010, No. 2, pp. 23-25.

9. Akimov, V.V. Mekhanizm of liquid-phase agglomeration of hard-alloy composites of TiS-TiNi. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy, 2006, No. 6, pp. 33-35.

10. V. V. Akimov, A. F. Mishurov, E. V. Akimova. Zharostoykost the bezvolframovykh of solid TiC-TiNi alloys depending on volume structure of composition when heating to high temperatures. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy, 2016, T.59, No. 10, pp. 688-691.

11. Geller Yu. A. Instrumental became, M.:metallurgiya, 1975, 580 pages.

12. Popov A.YU., Vasilyev N. G., A.A. Rauba. Thermomechanical hardening of the hard-alloy plates used for turning of wheel couples. Zheleznodorozhny transport of Siberia: problems and prospects: Those. report academic and research conference, Omsk, 1989, Page 83.

*Акимов Валерий Викторович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5).*

*Громовик Анатолий Иванович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5).*

*Грязнов Алексей Юрьевич (Омск, Россия) – инженер кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail:lexa-gryaznov@mail.ru).*

*Valery V. Akimov (Omsk, Russia) is the Doctor of Engineering, professor of "Cars, Constructional Materials and Technologies" department FGBOOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*

*Anatoly I. Gromovik (Omsk, Russia) is Candidate of Technical Sciences, the associate professor "Construction mechanics and geotechnologies" FGBOOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*

*Alexey Yu. Gryaznov (Omsk, Russia) is the engineer of "Cars, Constructional Materials and Technologies" department FGBOOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*

УДК 621.113.066

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ**

*Ю.В. Баженов, В.П. Каленов  
Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, г. Владимир*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований эксплуатационной надежности электронных систем управления двигателем (ЭСУД). Обоснован комплекс диагностических параметров для оценки технического состояния подсистем ЭСУД и их нормативные значения. Построены графики и аналитические уравнения, описывающие закономерности изменения диагностических параметров по наработке. Предложена методика прогнозирования остаточного ресурса конструктивных элементов ЭСУД с использованием достоверных интервалов. Методика апробирована на примере прогнозирования остаточного ресурса подсистемы питания топливом ЭСУД 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт) автомобиля Peugeot 208 .