

Изучение и оценка возможности использования отходов гидроабразивной резки стали для изготовления строительной керамики

Н.А. Кропотухина, К.С. Сосницкая, А.С. Сиско, А.Ю. Бибикова

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация: В статье исследуются отходы гидроабразивной резки стали. Выполнено комплексное исследование отходов гидроабразивной резки: определены средняя и насыпная плотность, гранулометрический состав, химический состав. Установлено, что отходы гидроабразивной резки металлов представляют собой очень тонкие тяжелые пески.

Ключевые слова: гидроабразивная резка, термическое сопротивление, прочность частей конструкции, строительная керамика, предельные состояния, строительство.

Предмет исследования: в данной работе исследовались состав, структура и свойства отходов гидроабразивной резки стали и их поведение в составе керамических масс.

Цели: изучение и оценка возможности использования отходов гидроабразивной резки в качестве полифункциональной добавки для производства строительной керамики.

Материалы и методы: исследованы свойства и гранулометрический состав исходного гранатового абразива и образующихся отходов согласно ГОСТ 8735-88. Проведено электронномикроскопическое исследование различных фракций отходов на растровом электронном микроскопе FEIQUANT, определен элементный и химический состав на спектрометре ARL Optim'X. Изготовлены и испытаны образцы-кубики с ребром 5 и 4 см с использованием глинистого сырья с технологических линий предприятий ОАО «Лосиноостровский завод строительных материалов и конструкций» и ОАО «Голицынский керамический завод» с различным соотношением глины и отходов.

Результаты: Определены средняя и насыпная плотность, гранулометрический состав, химический состав. Установлено, что отходы гидроабразивной резки металлов представляют собой очень тонкие

тяжелые пески. Прочность керамических образцов (глина: отходы = 1:1 по массе) после обжига при 900°C составила 13,47 МПа, что соответствует марке М125, а водопоглощение образцов составило 11,6%. Установлена закономерность изменения цвета образцов в зависимости от содержания отходов в составе массы.

Выводы: Предварительные исследования позволяют сделать вывод об использовании отходов керамики, в частности, как отощающей добавки, флюса (плавня), красителя для керамической черепицы.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Ознакомление с литературой по использованию отходов не дает достаточной информации по утилизации отходов гидроабразивной резки, что может быть связано с отсутствием интереса к отходам, образующимся в небольших количествах, а также с относительной новизной технологии гидроабразивной резки. Считаем, что наряду с так называемыми многотоннажными отходами промышленности, отходы, образующиеся в умеренных количествах, также могут заполнить нишу ресурсного дефицита в производстве того или иного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве абразива используется гранатовый песок, по минеральному составу состоящий преимущественно из альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$. Альмандин – железисто-алюминиевый гранат вишнево-красного цвета с высокой твердостью – $7\div 8$ по шкале Мооса, высокой плотностью - $4,1\text{...}4,3 \text{ г/см}^3$. Спайность альмандин не совершенна, обладает магнитными свойствами и парамагнитной вращательной силой. Альмандин обладает высокой устойчивостью к разрушению, отсутствием токсичности по отношению к человеку и окружающей среде. Большая часть гранатового абразива производится в Индии, Австралии, ЮАР и Китае. Кроме альмандин в минеральном составе

представлены пироп (образует с альмандином изоморфный ряд), ильменит и кварц. Минеральный состав представлен в таблице 1. Химический состав приведён в таблице 2.

Результаты количественного РФА абразива (содержания приведены в % масс)

Таблица 1

Альма	Пироп	Ильме	К
88,9	6,8	2,8	1,5

Модуль крупности равен 1,75, пылевидных и глинистых частиц не обнаружено. [1] Исследования абразива проходили согласно ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» абразив можно характеризовать как обогащённый мелкий песок I класса.

Таблица 2 Химический состав по результатам РФА абразива и отходов (содержания приведены в % масс)

Химический состав		Химический состав отходов	
Ок	Содержание, %	Оксид	Содержание, %
SiO ₂	35,01	SiO ₂	31,02
Fe	28,91	Fe ₂ O ₃	35,07
Al	20,22	Al ₂ O ₃	17,22
TiO ₂	8,54	TiO ₂	7,62
MgO	5,14	MgO	6,74
CaO	1,31	CaO	1,32
Про	0,87	Прочее	1,01

Исследование сухой части отходов (проводилось согласно ГОСТ 8735-88) дало следующие результаты: истинная плотность - 3,7 г/см³, насыпная плотность - 2,2 г/см³. По сравнению с исходным абразивом резко меняется гранулометрический состав: практически исчезает остаток на сите 0,315 мм, что говорит о разрушении частиц исходного абразива. Появляется большое количество мельчайших частиц. Модуль

крупности равен 0,88. [2] Изменения в гранулометрическом составе показаны в таблице 3.

Таблица 3 Сравнение гранулометрического состава исходного абразива и отходов гидроабразивной резки

Размеры отверстий сит, мм ^х	Гранатовый абразив		Отходы гидроабразивной резки	
	Остатки частные,	Остатки полные, %	Остатки частные, %	Остатки полные, %
0,315	75,6	75,6	1,6	1,6
0,16	24	99,6	70,5	72,1
Менее 0,16	0,3	99,9	27,1	99,2
Всего	99,9	-	99,2	-

Остатки на ситах от 0,63 до 5 мм отсутствуют.

Микроскопическое исследование, выполненное на растровом электронном микроскопе FEIQUANTA, показало, что частицы размерами от 0,16 до 0,315 мм представлены претерпевшим разрушение гранатовым песком. Комплексное исследование состава и свойств отходов гидроабразивной резки стало показало, что они представляют собой тонкие тяжёлые пески с высоким содержанием пылевидной фракции, в химическом составе которых, преобладают оксиды железа, кремния и алюминия. Такая характеристика отходов позволила наметить возможные пути их использования. В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО 2017) отходы песка при гидроабразивной резке черных и цветных металлов относятся к V классу опасности, то есть практически неопасным. По механизму образования и составу данные отходы соответствуют минеральным отходам и попутным продуктам, не утратившим природных свойств, сохраняющим химический

и минеральный состав соответствующих горных пород и природных минералов, и, соответственно, можно опираться на соответствующие рекомендации по их подготовке и использованию [3]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования поведения отходов при обжиге в составе керамической массы были изготовлены образцы-кубики с ребром 5 см. Использовалось кислое легкоплавкое (показатель огнеупорности $T = 1281^{\circ}\text{C}$) полиминеральное глинистое сырьё с технологической линии ОАО "Лосиноостровский завод строительных материалов и конструкций" следующего минерального состава [4]: кварц - 49%, монтмориллонит - 25%, гидрослюда - 7%, микроклин - 5%, каолинит - 3%, гематит - 2%, анортит - 1%, аморфная фаза - 8%. Химический состав глинистого сырья: Al_2O_3 - 14,85%, SiO_2 - 65,08%, Fe_2O_3 - 11,65%, K_2O - 3,45%, MgO - 1,98%, TiO_2 - 1,51%, CaO - 1,24%, MnO_2 - 0,24%. Плотность глинистого сырья составила $2,3 \text{ г/см}^3$. По пластичности глинистое сырьё относится к группе умеренно пластичных глин, а по чувствительности к сушке характеризуется как высокочувствительное с $\Pi = 86$ сек. По температуре и степени спекания сырьё относится к группе среднетемпературного спекания и неспекающегося глинистого сырья соответственно.

После обжига не наблюдались деформации образцов, аномалии цвета. Образцы имели трещины, причина которых, как мы считаем, в агрессивности режима сушки для данного глинистого сырья. Средняя плотность образцов после обжига составила $2,4 \text{ г/см}^3$, водопоглощение - 11,6%, предел прочности при сжатии - 13,47 МПа, что соответствует марке 125. Цвет образцов - красный.

Известно, что алмадин при температуре выше 900°C разлагается с образованием ферро-магнитного королька из герцинита, железистого

кордиерита и фаялита [8]. Этот возможный процесс при формировании керамического черепка требует дополнительного исследования.

Для исследования поведения отходов при температуре обжига выше 900°C в составе керамической массы были изготовлены образцы-кубики с ребром 4 см. Использовалось кислое легкоплавкое глинистое сырьё с технологической линии ОАО "Голицынский Керамический Завод". Пробные составы керамических масс: 20% глины и 80% отходов, 40% глины и 60% отходов, 65% глины и 35% отходов, а также чистое глинистое сырьё (100% глины). Водотвёрдое отношение для всех составов с отходами составило 18%. Водотвёрдое отношение для чистого глинистого сырья, необходимого для достижения нижнего предела пластичности, составило 25%. После обжига у образцов, в составе которых были отходы, не наблюдалось деформаций, трещин, признаков пережога и аномалий цвета. Стоит отметить, что цвет образцов менялся от светло-красного при отсутствии отходов в составе массы до красно-коричневого цвета при максимальном содержании отходов в массе.

ВЫВОДЫ

Предварительные исследования позволяют сделать выводы о том, что при детальном исследовании в перспективе можно апробировать отходы гидроабразивной резки, как полифункциональной добавки: отощающей добавки, флюса (плавня), пигмента, который дает темно-коричневый оттенок ввиду оксида железа.

Литература

1. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Behavior of preloaded RC beams strengthened with CFRP laminates // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2006. Vol. 7, №3. pp. 436-444.

2. J. V. Mander; M. J. N. Priestley; and R. Park, Fellow, ASCE. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete // Journal of Structural Engineering. Vol. 114, №8. 1988. URL: doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)
 3. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2096
 4. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2094
 5. Сканави Н. А., Довыденко Т. А. Отходы гидроабразивной резки металлов как перспективный компонент сырьевых строительных смесей // Научное обозрение. 2017. №19. С. 28-31.
 6. Skanavi Nataliya, Dovydenko Timofey Assessment of possibility of metal waterjet cutting wastes use in building materials production // RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2017 – 000417
 7. П. И. Боженков Комплексное использование минерального сырья и экология /: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 1994. – 265 с.
 8. Землянушнов Д. Ю., Орешкин Д. В., Сканави Н. А. Методика экологической оценки применения отходов мрамора в производстве строительной керамики // Научное обозрение. 2014. №7. С. 661-664
 9. Минералы. Диаграммы фазовых равновесий. Вып. 1. / под ред. Чухрова Ф. В., Островского И. А., Лапина В. В. – М.: Изд-во «Наука», 1974. – С. 139-142.
 10. Польской П.П., Маилян Д.Р. Об уточнении расчетов прогибов балок, усиленных композитными материалами // Научное обозрение. 2014. № 12. С. 493.
-

References

1. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2006. Vol. 7. №3. pp. 436-444.
2. J. B. Mander; M. J. N. Priestley; and R. Park, Fellow, ASCE. Journal of Structural Engineering. Vol. 114. №8. 1988. URL: doi.org 10.1061(ASCE)0733 9445(1988)114:8(1804)
3. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P., Mervat H., Kurgin K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2096
4. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P., Mervat H., Kurgin K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2094
5. Skanavi N. A., Dovydenko T. A. Nauchnoe obozrenie. 2017. №19. p. 28-31.
6. Skanavi Nataliya, Dovydenko Timofey R S Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2017 000417
7. P. I. Bozhenov Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja i jekologija [Complex use of mineral raw materials and ecology]: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 1994. 265 p.
8. Zemljanushnov D. Ju., Oreshkin D. V., Skanavi N. A. Nauchnoe obozrenie. 2014. №7. pp. 661-664
9. Mineraly. Diagrammy fazovyh ravnovesij [Minerals Phase Equilibrium Diagrams]. Vyp. 1. Pod red. Chuhrova F. V., Ostrovskogo I. A., Lapina V. V. M.: Izd-vo «Nauka», 1974. p. 139-142.
10. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 12. p. 493.