

УДК 621.37

Результаты экспериментальных исследований по резанию карбонатных горных пород мощным лазерным излучением

А. Ю. Чебан, Н. П. Хрунина, Н. А. Леоненко

Представлены результаты экспериментальных исследований по резанию карбонатных горных пород лазерным излучением. Предлагается лазерный автоматизированный комплекс для оснащения карьерных комбайнов при технологической подготовке скальных пород к выемке.

PACS: 42.60.-v

Ключевые слова: горные породы, резание, оптоволоконный лазер, перекрытия энергетических зон.

Введение

В настоящее время развиваются исследования в области взаимодействия энергетических потоков с веществом с целью создания высокоэффективных технических средств и технологий. Наиболее явно это проявляется в области лазерной техники. Применение лазерных технологий для обработки различных твердых материалов активизировалось с появлением современных волоконных лазеров, имеющих КПД до 30 % [1].

Исследования показывают возможность успешного применения лазерного излучения и в горном производстве [2, 3]. В Японии корпорацией Тайсей проведены исследования по воздействию лазерного излучения на горные породы [4]. Исследовались процессы лазерной резки песчаника и гранита излучением CO₂-лазера мощностью до 10 кВт, скорость резки достигала 3 м/мин при толщине реза 10 мм. Также экспериментально доказывалось преимущество комбинированного метода сверления гранита после воздействия лазерного излучения, которое вызывает растрескивание породы и делает ее более хрупкой. На полигоне Белые пески (США) проводились работы по взаимодействию излучения HF(DF)-лазера MIRACL мощностью 0,5—1,2 МВт с горными породами [5]. Исследования показали, что скорость проходки скважин при лазерном бурении может быть уве-

личена на порядок по сравнению с традиционными методами. Институт технологии газа (GTI) [5] выдвинул идею использования мощных волоконных лазеров для резки и разрушения горных пород. Подтверждением состоятельности данной концепции явилась работа по использованию волоконного лазера для туннелирования через кремнистые и карбонатные породы, а также реализация лазерного бурения в песчаниках и известняках с низким энергопотреблением [5]. В настоящее время GTI отмечает снижение затрат на буровые и разведочные работы благодаря применению лазерной энергии.

Следует отметить, что GTI проведены эксперименты по изучению взаимодействия излучения импульсных CO- и CO₂-лазеров с горными породами, типичными для нефтяных месторождений (совместно с Московским государственным горным университетом, Colorado School of Mines (США) и Solution Engineering (США)) [6].

Лапидарные сведения об экспериментальных данных дают неполное представление о процессах, возникающих при лазерном воздействии на горные породы. Расширение исследований в этой области, в т. ч. в направлении варьирования типов горных пород, позволит обеспечить более широкое использование лазерного излучения в горном деле.

Целью данной работы являлось проведение экспериментальных исследований по резанию карбонатных горных пород лазерным излучением для подготовки соответствующего технического задела для практического использования мощных волоконных лазеров в горном деле.

Результаты исследования

В Институте горного дела ДВО РАН совместно с Тихоокеанским государственным университетом (г. Хабаровск) выполнены исследования по

Чебан Антон Юрьевич, научный сотрудник.
Хрунина Наталья Петровна, старший научный сотрудник.
Леоненко Нина Александровна, ведущий научный сотрудник.
Институт горного дела
Дальневосточного отделения РАН.
Россия, 68000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
Тел. 8 (4212) 32-79-27.
E-mail: npetx@mail.ru; adm@igd.khv.ru

Статья поступила в редакцию 21 сентября 2014 г.

© Чебан А. Ю., Хрунина Н. П., Леоненко Н. А., 2014

резанию горных пород с использованием волоконного иттербиевого лазера ЛС-06 ("ИРЭ-Полюс") с выходной мощностью 600 Вт. В процессе испытаний лазер работал в режиме непрерывного излучения с длиной волны 1070 нм. Резание осуществлялось с использованием выходного коннектора QВН-типа диаметром 50 мкм. Расстояние от выходного коннектора до поверхности резания составляло 4 мм, мощность излучения варьировалась пошагово, а именно: 150; 300; 450 и 570 Вт [7]. Эксперименты проводились на образцах известняка и доломита розового. Результаты экспериментальных исследований по резанию образцов карбонатных пород представлены в таблице.

зависит как от скорости резания, так и от мощности излучения. С увеличением скорости резания удельная энергоёмкость процесса снижается. При одинаковых режимах резания, удельная энергоёмкость резания образца доломита больше чем известняка.

Практические рекомендации

При разработке плотных, полускальных и скальных горных пород продолжает применяться взрывное рыхление. Однако оно имеет ряд недостатков, в том числе ослабление примыкающего горного массива сейсмическим воздействием взры-

Таблица

Данные экспериментальных исследований по резанию образцов карбонатных пород лазерным излучением

Мощность излучения, Вт	Время резания, с	Глубина резания, мм		Площадь реза, мм ²		Энергоёмкость резания известняка и доломита, Дж	Удельная энергоёмкость резания, Дж/мм ²	
		известняк	доломит	известняк	доломит		известняк	доломит
скорости резания образцов 2 мм/с								
150	20	1,91	1,63	76,4	65,2	3000	39,26	46,01
300	20	3,70	3,15	148,0	126,0	6000	40,54	47,62
450	20	5,45	4,64	218,0	185,6	9000	41,28	48,49
570	20	6,81	5,80	272,4	232,0	11400	41,85	49,14
скорости резания образцов 1 мм/с								
150	40	3,62	3,09	144,8	123,6	6000	41,44	48,54
300	40	7,02	5,98	280,8	239,2	12000	42,74	50,16
450	40	10,37	8,79	414,8	351,6	18000	43,39	51,19
570	40	12,98	10,96	519,2	438,4	22800	43,91	52,01
скорости резания образцов 0,5 мм/с								
150	80	6,90	5,79	276,0	231,6	12000	43,48	51,81
300	80	13,27	11,12	530,8	444,8	24000	45,21	53,96
450	80	19,44	16,24	777,6	649,6	36000	46,29	55,42
570	80	24,15	20,05	966,0	802,0	45600	47,20	56,86

С увеличением мощности лазерного излучения глубина реза карбонатных пород возрастает по зависимости, близкой к линейной. Некоторое отставание прироста глубины реза по сравнению с приростом мощности излучения можно объяснить дополнительными затратами энергии на разогрев образцов, структурными неоднородностями карбонатных пород, шероховатостью поверхности и, тем самым, отклонением фокусного расстояния от поверхности образцов. Время резания образца в зависимости от скорости резания изменялось от 20 до 80 секунд. Эффективность локальной лазерной дезинтеграции определялась посредством удельной энергоёмкости резания, которая равна отношению энергоёмкости процесса резания к площади полученного реза. Установлено, что удельная энергоёмкость резания исследуемых горных пород

ва, выход негабаритов, невозможность применения взрывного рыхления в непосредственной близости к объектам инфраструктуры и др. [8]. Устранить вышеперечисленные недостатки позволяет применение карьерных комбайнов, которые показали свою высокую эффективность при разработке плотных горных пород [9, 10]. Достаточно успешно карьерные комбайны разрабатывают полускальные породы, однако при разработке скальных горных пород они становятся малоэффективными, поскольку производительность этих машин в сравнении с теоретической снижается в десятки раз, а рабочий орган, приводы и металлоконструкция испытывают предельные нагрузки, которые отрицательно влияют на надёжность и долговечность машин, многократно возрастает расход резцов и время на их замену [11—13]. Также возникают

проблемы при разработке месторождений полезных ископаемых с неоднородными по прочности породами.

Для решения данной проблемы авторами разработана принципиальная схема лазерного автоматизированного комплекса для оснащения карьерных комбайнов при технологической подготовке к выемке скальных пород [14, 15]. Комплекс включает лазерный прибор, который размещается на направляющих рамы комбайна с возможностью продольного перемещения на опорах качения с помощью привода, связанного с блоком автоматического управления, и выполнен в виде кассеты с оптоволоконными излучателями, размещаемыми вдоль направления перемещения карьерного комбайна. За счет совмещения процессов продольного перемещения комбайна и поперечного перемещения кассеты в прочных прослоях обработки формируются перекрытия энергетических зон, обеспечивающих высокую концентрацию напряжений, знакопеременные нагрузки и деформацию при лазерной обработке значительной поверхности горного массива. Учитывая тот факт, что после работы лазерной установки нет необходимости в реализации значительных усилий на исполнительном органе, комбайн будет иметь облегченную конструкцию и небольшие габариты.

Лазерное воздействие как дополнительный фактор разрушения и дезинтеграции скальных горных пород при работе карьерных комбайнов обеспечит эффективность процесса добычи полезного ископаемого, в том числе за счет уменьшения объемов фракции, требующей дополнительного последующего дробления.

Заключение

В работе исследуется процесс резания карбонатных горных пород с использованием волоконного иттербиевого лазера ЛС-06 с выходной мощностью 600 Вт. Выполненные расчеты энергоемкости и удельной энергоемкости резания известняка и доломита на основе проведенных экспериментальных исследований показывают перспективность воздействия лазерного излучения на процесс предразрушения крепких горных пород. Исследования обеспечили обоснованность

подхода к выбору лазерного оборудования и режимов его работы применительно к конкретным горно-геологическим условиям при разработке полезных ископаемых.

Разработанная принципиальная схема лазерного автоматизированного комплекса для оснащения карьерных комбайнов является одним из вариантов практического использования полученных результатов, которые можно развивать в дальнейшем.

Статья подготовлена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 13-05-00586 и комплексной программы фундаментальных исследований Федерального агентства научных организаций 42 П ДВО РАН 12-III –А-08-179.

Литература

1. Панченко В. Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. — М.: Физматлит, 2009.
2. Афанасьев Ю. В., Завестовская И. Н., Зворыкин В. Д. и др. // Квантовая электроника. 2000. Т. 30 (5). С. 462.
3. Голубев В. С. // Перспективные материалы. 2005. № 1. С. 5.
4. Sigimoto D. et al. // Proc. SPIE. 2000. V. 3887. P. 49.
5. Brian C. Gahan, P. E., Samih Batarseh. Report. Continuation of fundamental research and development. 2003—2004. URL: www.osti.gov
6. О'Брайен Д., Грейвс Р., Зворыкин В. Д. и др. // Физика и химия обработки материалов. 2005. № 1. С. 47.
7. Леоненко Н. А., Секисов Г. В., Чебан А. Ю. и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 5. С. 80.
8. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П. // Горная промышленность. 2014. № 2. С. 104.
9. Панкевич Ю. Б., Хартман Г. // Горная промышленность. 1997. № 1. С. 4.
10. Чебан А. Ю. // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 3. С. 105.
11. Пихлер М., Панкевич Ю. Б. // Горная промышленность. 2000. № 3. С. 42.
12. Чебан А. Ю. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 10. С. 53.
13. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П. // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 1 (21). С. 131.
14. Чебан А. Ю., Леоненко Н. А., Хрунина Н. П. Пат. РФ № 2527445 от 09.07.2014.
15. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П., Леоненко Н. А. Пат. РФ № 2528187 от 17.07.2014.

Improvement of technology of continuous extraction of rocks with the use of laser radiation

A. Y. Cheban, N. P. Khrunina, and N. A. Leonenko

Science Mining Institute,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
51 Turgenev str., Khabarovsk, 68000, Russia.
E-mail: npetx@mail.ru; adm@igd.khv.ru

Received September 21, 2014

The results of experimental research on cutting of carbonate rocks of laser radiation. A laser equipment for automated surface miner in the technological preparation of rock to the seizure.

PACS: 42.60.-v

Keywords: rocks, cutting, laser, fiber laser, overlay zone crevices.

References

1. V. Ya. Panchenko, *Laser Tehnology for Treatment of Materials* (Fizmatlit, Moscow, 2009) [in Russian].
2. Yu. V. Afanas'ev, I. N. Zavestovskaya, V. D. Zvorykin et al., *Quantum Electronics* **30** (5), 462 (2000).
3. V. S. Golubev, *Perspektivnye Materialy*, No. 1, 5 (2005).
4. D. Sigimoto et al., *Proc. SPIE* 3887, 49 (2000).
5. Brian C. Gahan, P. E., Samih Batarseh, *Report. Continuation of Fundamental Research and Development*. 2003—2004. URL: www.osti.gov
6. D. O'Braien, R. Greyvs, V. D. Zvorukin, et al., *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, No. 1, 47 (2005).
7. N. A. Leonenko, G. V. Sekisov, A. Yu. Cheban, et al., *Fiziko-tekhn. Problemy Razrabotki Iskopaem.*, No. 5, 80 (2013).
8. A. Yu. Cheban, and N. P. Khrunina, *Gorn. Promyshl.*, No. 2, 104 (2014).
9. Yu. B. Pankevich and G. Khartman, *Gorn. Promyshl.*, No. 1, 4 (1997).
10. A. Yu. Cheban, *Bull. Tikhookean. Gos. Univers.*, No. 3, 105 (2012).
11. M. Pikhler and Yu. B. Pankevich, *Gorn. Promyshl.*, No. 3, 42 (2000).
12. A. Yu. Cheban, *Gorn. Inform.-Analit. Bull.*, No. 10, 53 (2013).
13. A. Yu. Cheban, and N. P. Khrunina, *Sistem. Metody. Tekhnolog.*, No. 1 (21), 131 (2014).
14. A. Yu. Cheban, N. A. Leonenko, and N. P. Khrunina, RF Patent No. 2527445, July 9, 2014.
15. A. Yu. Cheban, N. A. Leonenko, and N. P. Khrunina, RF Patent No. 2528187, July 17, 2014.