

Л.В. Прохорец, инженер
(ИГТМ НАН Украины)

М.В. Головин (ЗАО «Донецксталь» –
металлургический завод»)

ПРИЛОЖИМОСТЬ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОХРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В статті подана порівняльна характеристика методів неруйнівного контролю неметалевих матеріалів, які є частиною охоронних конструкцій гірничих виробок. Приведені переваги та недоліки існуючих методів. Розглянуті можливості використання цих методів та засобів контролю в шахтних умовах.

THE APPLICABILITY OF METHODS OF NOT DESTROYING CONTROL OF PROPERTIES OF NONMETALLIC ELEMENTS OF SECURITY DESIGNS OF MOUNTAIN DEVELOPMENTS

In article the comparative characteristic of methods of not destroying control of nonmetallic materials which are a part of security designs of mountain developments is given. Positive and negative qualities of existing methods are given. Opportunities of use of these methods and means of the control over mine conditions are considered.

Современная практика подземной разработки полезных ископаемых свидетельствует, что усложнение горно-геологических условий, переход горных работ на большие глубины существенно повышают трудовые и материальные затраты для обеспечения надежной эксплуатации горных выработок. Базовой схемой крепления на сегодня является рамно-анкерная система. Как показывает мировой и отечественный опыт, повышение деформационно-силовых характеристик ее элементов только за счет наращивания поперечного сечения является неэффективным [1]. Основным направлением по совершенствованию схем поддержания горных выработок является создание комбинированных охранных систем, в которых наряду с традиционными видами металлокрепления предполагается широкое использование конструкций, выполненных с использованием твердеющих смесей [2].

Возведение и эксплуатация указанных охранных конструкций неразрывно связаны с необходимостью текущей оценки их состояния. Наиболее важной является информация о прочностных характеристиках материала. Она должна быть получена непосредственно на месте расположения конструкции без нарушения ее целостности, что возможно только при использовании неразрушающих методов контроля.

Наиболее близким аналогом используемых в шахтном строительстве твердеющих смесей является бетон. Для него разработан целый ряд методов и средств экспресс-оценки прочностных характеристик. В связи с особенностями выполнения контроля в подземных условиях далеко не все методы могут быть эффективно использованы. В настоящей публикации рассматривается вопрос о возможности применения для твердеющих смесей в шахтных условиях известных для бетона методик оценки его прочностных свойств.

В нормативной и методической литературе [3] рекомендованы следующие

методы экспресс–контроля бетона:

- методы местных разрушений – отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков;
- ультразвуковые методы;
- методы ударного воздействия – упругий отскок, пластическая деформация, ударный импульс.

На рис. 1 приведена обобщенная схема классификации всех вышеописанных методов неразрушающего контроля твердеющих материалов.



Рис. 1 – Классификация методов неразрушающего контроля твердеющих материалов

Для практической реализации указанных методов существует большое количество различных средств контроля и методик их применения.

Наиболее точными являются методы с частичным разрушением бетона, хотя отнесение их в категорию неразрушающего контроля может быть предметом дискуссии. Метод отрыва со скалыванием позволяет контролировать прочность бетона на глубине примерно до 50 мм. К недостаткам этого метода можно отнести высокую трудоемкость и невозможность его использования в густоармированных участках конструкций. Альтернативой является метод скалывания ребра: к его достоинствам можно отнести более высокую производительность и возможность испытания густоармированных участков конструкций. Из приборов, реализующих методы частичного разрушения бетона, в настоящий момент

существует только две современных модели — «Скол» и «Отрыв», являющиеся модификациями прибора ПОС-50МГ4. Это сравнительно небольшие по габаритам и легкие приборы, развивающие усилия 30 кН и 50 кН, предназначенные для контроля прочности бетона в диапазоне 5—100 МПа с погрешностью до $\pm 2\%$. Но, все-таки известно, что как скол, так и отрыв – это виды разрушения материала. Отрыв обусловлен действием нормальных растягивающих напряжений, скол обусловлен действием касательных напряжений. Скол является более сложным видом разрушения, чем отрыв, так как ему обычно предшествуют значительные пластические деформации, вызывающие перераспределение напряжений. То есть, так или иначе данные методы будут вызывать разрушение конструкции, хоть и частичное. Кроме этого большинство контролируемых в шахте объектов имеют плоскую поверхность без наличия ребристых выступов. Указанные особенности не позволяют рекомендовать данные средства и методику для использования в шахтных условиях.

Ультразвуковой метод контроля прочности бетона является одним из наиболее распространенных [4 - 6]. Он основан на корреляционных зависимостях между скоростью прохождения упругих волн (преимущественно продольной) и прочностными характеристиками (преимущественно пределом прочности на одноосное сжатие).

Данные ультразвуковых измерений позволяют также оценить прочностные свойства горных пород. В ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины совместно с УкрНИМИ и НГУ разработана методика, которая основана на существовании корреляционной связи предела прочности пород на сжатие с акустическими свойствами (скоростями распространения и затуханием продольных и поперечных волн) [7]. Для определения прочностных свойств пород по акустическим измерениям в массиве необходимо предварительно установить наличие соответствующих зависимостей на образцах. Накоплено значительное количество таких зависимостей для различных типов горных пород. Одна из таких зависимостей, уравнение регрессии для горных пород, приведена ниже:

$$\sigma_{сж} = AV_p^2 + BV_p + C,$$

где A , B , C – коэффициенты уравнения регрессии; V_p – скорость распространения продольных упругих волн.

Данное уравнение следует использовать для массовых экспресс-определений прочностных параметров горных пород.

В настоящее время разработано и серийно выпускается большое число низкочастотных ультразвуковых приборов, которые могут быть использованы для оценки свойств бетона и горных пород. Приборы первого поколения, наиболее удачным из которых явился прибор УКБ-1М, были предназначены для работы в стационарных условиях. Следующее поколение приборов, к которым можно отнести УК-10П, УК-12П, УК14П имели батарейное питание, характеризовались уменьшенными габаритами и весом и в отдельных случаях использовались для выполнения измерений на шахтах, не опасных по газу и пыли. Из совре-

менных приборов для контроля бетона следует отметить ультразвуковой тестер УК1401, семейство приборов Пульсар и ряд других.

В 80-ые годы прошлого века проявляется большой интерес к ультразвуковому методу для оценки состояния породного массива и создается целый ряд средств, специально предназначенных для работы в шахтных условиях. Наибольший интерес представляют разработки ШУП-1 и УК-Прогноз, позволяющие выполнять измерения в шахтах, опасных по газу и пыли. Их недостатком является то, что они морально устаревшие. Это обуславливает ограниченность использования таких приборов в настоящее время.

Метод упругого отскока, который относится к методам ударного взаимодействия, заключается в измерении величины обратного отскока ударника при соударении с поверхностью бетона. Типичным представителем приборов для испытаний по этому методу является склерометр Шмидта и его многочисленные аналоги. Метод упругого отскока основан на измерении поверхностной твердости бетона.

Метод пластической деформации основан на измерении размеров отпечатка, который остался на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика. Метод устаревший, но до сих пор его используют из-за дешевизны оборудования. Наиболее широко для таких испытаний используют молоток Кашкарова, а также молоток Физделя.

Молоток Физделя основан на использовании пластических деформаций бетонов. При ударе молотком по поверхности конструкции образуется лунка, по диаметру которой и оценивают прочность материала.

Отличительная особенность молотка Кашкарова от молотка Физделя заключается в том, что между металлическим молотком и шариком имеется отверстие, в которое вводится контрольный металлический стержень. При ударе молотком по поверхности конструкции получают два отпечатка: на поверхности материала и на контрольном (эталонном) стержне с разными диаметрами. Отношение диаметров получаемых отпечатков зависит от прочности обследуемого материала и эталонного стержня и практически не зависит от скорости и силы удара, наносимого молотком. Прочность материала определяют по среднему значению отношения этих диаметров.

Одним из недостатков вышеописанных методов является то, что определение характеристик бетона производится по одному показателю, соответствующему определенному свойству бетона. Склерометрический метод, используя диаметр отпечатков, учитывает только пластические свойства, а методы упругого отскока и ультразвуковой учитывают только упругие свойства бетона. Но прочность любого материала является многопараметровой функцией. Поэтому рассмотренные косвенные характеристики имеют сложную и не всегда надежную связь с прочностью. Если проводить комплексные испытания и использовать несколько косвенных характеристик, то точность измерения повышается.

Более существенным недостатком, применительно к перспективе использования существующих в рамках данных методов технических средств для оценки свойств твердеющих строительных смесей в шахтных условиях, является их

низкая устойчивость механической части к воздействию агрессивной среды, а также неискровзрывобезопасное исполнение электронного блока.

Наиболее подходящим методом для решения задач, связанных с диагностикой состояния неметаллических элементов охранных конструкций в подземных условиях, является метод ударного импульса. Он заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка с поверхностью контролируемой среды. Боек, имеющий сферическую поверхность ударника, под действием пружины ударяется о контролируемую поверхность, при этом вся энергия удара (не считая тепловых потерь) расходуется на упругие и пластические деформации материала. В результате пластических деформаций образуется лунка, а упругих - возникает реактивная сила F . Чем меньше прочность среды, тем выше ее пластические деформации и длительность ударного взаимодействия и наоборот, чем выше упругие свойства, тем больше величина силы F , и меньше время действия удара. К информативным параметрам метода относится форма электрического сигнала (акустического импульса), являющаяся комплексной характеристикой, зависящей от упругих и пластических свойств исследуемого материала. Недостатком является контроль прочности в поверхностном слое. На сегодняшний день наиболее известным для реализации метода ударного импульса является прибор ИПС-МГ4, предназначенный для определения прочностных характеристик бетона в цеховых и полевых условиях. Измерение прочности бетона заключается в нанесении на контролируемом участке изделия серии до 15 ударов; электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающим от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства испытуемого материала, преобразует параметры импульса в прочность, индицируя ее на дисплее прибора в мегапаскалях.

Прибор ИПС-МГ4 предназначен для определения прочности бетона методом ударного импульса в соответствии с [3]. Прибор позволяет оценивать физико-механические свойства материалов (прочность, твердость, упругопластические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения и др. Его основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики прибора ИПС-МГ4

Диапазон измерения прочности, МПа	3...100
Предел погрешности измерения, %	10
Объем архивируемой информации, значений	500
Питание автономное, элемент типа 'Корунд'	6F22, 6LR61 (9 вольт)
Потребляемый ток, не более, мА	10
Количество индивидуальных градуировочных зависимостей, шт.	9
Количество базовых градуировочных зависимостей, шт.	1
Связь с компьютером:	Интерфейс RS-232
Габаритные размеры, мм:	
- электронного блока	175x90x30
- склерометра	155x90x50
Масса, не более, кг.	0,85

Отличительной особенностью всех модификаций данного прибора является электронный силоизмеритель. Указанная особенность ограничивает область использования прибора, поскольку электронные схемы приборов не предназначены для работы в среде, опасной по газу и пыли. Поэтому можно с уверенностью сказать, что данные приборы не могут быть непосредственно использованы для оценки состояния твердеющих смесей в шахтных условиях.

Подводя итог можно сказать, что методы неразрушающего контроля твердеющих смесей получают все большее распространение благодаря простоте и малой трудоемкости измерений. Однако преобладающее число средств контроля не предназначено для работы в шахтных условиях. Поэтому ставится задача создания специализированных средств контроля, которые, с одной стороны, вобрали бы в себя достижения современной схмотехники, а с другой стороны были бы работоспособными и безопасными при эксплуатации в агрессивной и взрывоопасной среде. Наиболее перспективным представляется направление, реализующее метод ударного импульса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
2. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов / А. Ф. Булат, М. А. Ильяшов, Б. М. Усаченко [и др.]. – Днепропетровск: РИА «Днепр – VAL», 2004. – 33 с.
3. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Взамен ГОСТ 21243-75, ГОСТ 22690.0-77 – ГОСТ 22690.4-77; введен 01.01.1991.-Москва: Изд.стандартов,1991.-17с.
4. ГОСТ 17624-87.Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. Взамен ГОСТ 17624-78, ГОСТ 24467-80; введен 01.01.88.- Москва: Изд.стандартов, 1989.-18с.
5. Майборода, А.А. Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевмещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин. РД / А.А. Майборода, Р.Х. Миняфаев, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук [и др.]. - Днепропетровск: ДГИ. - 1988. - Ч. 1. - 48 с.; Ч.2. - 82 с.
6. Руководство по геофизической диагностике состояния системы "крепь-породный массив" вертикальных стволов / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский [и др.].- Донецк: АГН Украины, 1999. - 42 с.
7. Методические рекомендации по геофизическому контролю и диагностике геомеханического состояния подземных геотехнических систем угольных шахт / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, М.А. Ильяшов, О.Д. Кожушок [и др.]. - Днепропетровск - Донецк: «ВИК», 2009. – 80 с.