

УДК 622.273.2(001)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРОМОРАЖИВАЕМЫХ ВОДОПОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

© 2011 Д.Н. Петров, Г.П. Необутов

Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН, г. Якутск

Поступила в редакцию 18.05.2011

Представлены результаты экспериментальных исследований закономерностей изменения прочностных характеристик образцов льдопородной закладки в зависимости от таких основных воздействующих факторов, как размеры испытываемых образцов, крупность фракций твердого заполнителя, термо-влажностные условия формирования закладочного материала, а также деформируемости и работоспособности льдопородной закладки.

Ключевые слова: *закладка выработанного пространства, льдопородный материал, масштабный эффект, гранулометрический состав, прочность*

Анализ результатов научно-исследовательских работ по созданию технологии с льдопородной закладкой показал низкий уровень изученности вопросов формирования льдопородного материала, зависимости его прочностных характеристик от различных воздействующих факторов и, как следствие, отсутствие научно обоснованных технических разработок по повышению эффективности использования технологии для различных инженерно-геологических условий ведения горных работ. В лаборатории Промблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН им. Н.В. Черского СО РАН в течение ряда лет проводятся экспериментальные исследования особенностей формирования структуры льдопородных закладочных материалов и динамики их промерзания; установления закономерностей изменения прочностных характеристик льдопородной закладки в зависимости от таких основных воздействующих факторов, как крупность фракций твердого заполнителя, термовлажностные условия ее формирования и т.д., часть результатов которых опубликована в работах [1-3].

Научная новизна проведенных работ заключается в следующем:

- выявлены особенности образования структуры и динамики промерзания льдопородных материалов при их промораживании в различных режимах отрицательных температур и влагонасыщения, обусловившие выбор конструкции закладочных опор, основанной в послонном намораживании пород;
- впервые установлены закономерности изменения прочности на сжатие образцов льдопородной закладки в зависимости:

1) от количества намораживаемых слоев – льдопорода, образованная многослойным намораживанием значительно прочнее льдопороды с меньшим количеством слоев: предел прочности на одноосное сжатие пятислойной конструкции в 2,5-2,7 раза выше, чем двухслойной;

2) от влагонасыщения – наибольшие значения прочности достигаются при изменении содержания воды от 15 до 30% объема образца;

3) от температуры промораживания – наибольшая прочность достигается при температуре порядка -20°C ;

Экспериментальные исследования основных физических характеристик льдопородной закладки проводились на образцах комплексным методом испытаний, разработанным на основе анализа опыта проведения аналогичных исследований с учетом основных теоретических положений механики мерзлых пород, моделирования и математической статистики. Физическое моделирование осуществлялось на основе известных положений теории подобия и методик моделирования, предусматривающих геометрическое подобие модели и природы, геометрическое подобие гранулометрических составов, равенство объемных весов и углов внутреннего трения материалов модели и природы. Линейные размеры образцов при испытаниях принимались в масштабе 1:50, что соответствует типовым размерам «тумбовых» льдопородных целиков в реальных условиях ведения горных работ.

Льдопородные образцы изготавливали послойным намораживанием смесей из дробленых пород и воды в морозильной камере. Для образования льдопородного слоя охлажденный породный материал засыпался в металлические разборные формы с внутренними размерами, соответствующими размерам образцов проводимой серии опытов. Каждый слой равномерно наполнялся водой, охлажденной до температуры $+5^{\circ}\text{C}$, и подвергался проморозке до необходимой для

Петров Дмитрий Николаевич, младший научный сотрудник. E-mail: petrovdn74@mail.ru

Необутов Геннадий Павлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: igds@ysn.ru

проводимой серии испытаний температуры. После промерзания предыдущего слоя операция повторялась до полного заполнения формы.

Льдородный материал в элементах систем разработки используется для возведения опорных целиков и воспринимает сжимающие напряжения. Поэтому за основную характеристику (эталон) прочностных и деформационных свойств льдородной закладки принята его прочность на осевое сжатие. Все другие характеристики (на растяжение, изгиб и др.) и модуль деформаций зависят от прочности льдороды на одноосное сжатие и могут быть определены по эмпирическим формулам с помощью экспериментальных коэффициентов, получаемых в конкретных условиях использования льдородных опор. Для определения степени влияния масштабного эффекта на механические свойства замороженных закладочных смесей и выбора оптимальных размеров образцов испытываемого льдородного материала, которые бы наиболее полно характеризовали прочность льдородных целиков в производственных условиях, сравнивались пределы прочности на одноосное сжатие по трем сериям испытаний, проведенных на образцах-близнецах кубической формы с размерами ребер 100, 150 и 200 мм, изготовленных намораживанием пяти слоев пород при температуре -20°C и объемном содержании воды 20%, которое соответствует реальным условиям влагонасыщения в производственных условиях. Основной состав породного материала составляли фракции размером 5-10 мм.

Испытания льдородных образцов на одноосное сжатие проводились на прессе универсальной испытательной машины UTS-250 со стандартным блоком измерения и управления (компьютерное оснащение), укомплектованной холодильной установкой NOSKE-KAESER, при скорости нагружения образца 2 мм/мин до разрушения, после которого машина выдавала результаты в графо-цифровом виде. Наименьшее число образцов – 6, которое должно быть исследовано в одной серии опытов, выбиралось с учетом неоднородности состава горных пород, оцениваемых коэффициентом вариации, прочности при повторных испытаниях и желаемой точности значения средней прочности пород и основывалось на общеизвестных положениях математической статистики и рекомендациях по ее применению в горном деле.

Результаты экспериментов показали (рис. 1), что предел прочности образцов льдородного материала на одноосное сжатие при увеличении стороны их ребра с 100 до 200 мм уменьшается с 4,27 до 2,36 МПа, асимптотически приближаясь к 2 МПа. При этом коэффициент вариации показателей увеличивается соответственно с 13,8 до 21,6%, что указывает на большую достоверность результатов проведения испытаний с образцами со стороной ребра в 100 мм.

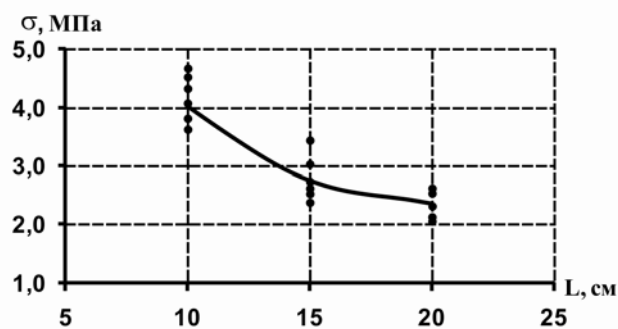


Рис. 1. Зависимость предела прочности льдородного материала на одноосное сжатие σ от его размеров L

Таким образом, для дальнейших исследований с учетом минимальных вариации опытов, масштаба моделирования и диаметра элементарной площадки установлены оптимальные размеры испытываемых образцов равными длине ребра кубика в 100 мм, которые соответствуют геометрическому масштабу моделирования 1: 50. Экспериментальные исследования основных физических характеристик льдородной закладки проводились аналогичным образом на образцах кубической формы с размером ребра 100 мм идентичного состава. Экспериментальными исследованиями также установлена зависимость изменения предела прочности на одноосное сжатие образцов льдородного материала от гранулометрического состава твердого заполнителя – значения прочностной характеристики плавно увеличиваются с 1,1 до 1,6 МПа при уменьшении размеров фракций от 10 до 1 мм (рис. 2). При испытаниях образцов с заполнителем меньшей крупности (<1 мм) происходит существенное повышение прочности – с 1,6 до 3,2 МПа. Таким образом, при ведении закладочных работ в конкретных производственных условиях для получения прочных податливых целиков необходимо учитывать наличие некоторых предельных величин прочности при определенных термовлажностных условиях их формирования.

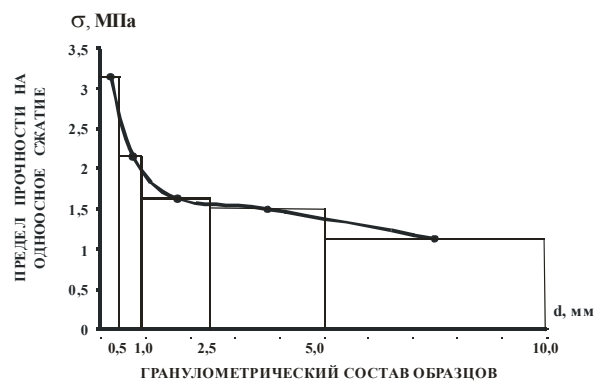


Рис. 2. Изменение средних значений предела прочности на одноосное сжатие в зависимости от гранулометрического состава твердого компонента

Результаты исследований прочностных свойств образцов льдопороды показывают большой разброс пределов прочности на одноосное сжатие – от первых единиц до 8-10 МПа. Указанное обстоятельство предполагает возможность создания разнопрочных закладочных массивов в зависимости от геотехнологического назначения целиков, т.е. использовать их несущую способность в мерах необходимости и достаточности путем создания определенного температурного режима и дозированной подачи воды. Использование разнопрочности смерзшейся закладки может заключаться в закладке составами наибольшей прочности только краевых камер, формировании льдопородных целиков с наибольшей прочностью в центральном горизонтальном сечении и т.д. Относительно высокая прочность льдопородной закладки предполагает также возможность ее использования в роли искусственной потолочины, что значительно расширяет область ее применения. Исследования деформируемости льдопородного закладочного материала показали, что переход образцов льдопороды в предельное состояние характеризуется высокой степенью ползучести и расчет предельных зон для целиков из льдопородной закладки должен производиться по огибающей на пределе ползучести.

Анализ зависимостей деформирования серии образцов-близнецов льдопородного материала при одноосном сжатии на прессе, полученных при различных режимах нагружения – статическом с равномерно возрастающими нагрузками, равными 0,02 МПа/с, и кинематическом с постоянной скоростью деформации, равной 2,5 мм/мин, позволяет сделать вывод о наличии

явно выраженных реологических свойств, обуславливающих вязкий характер его деформирования.

Исследования состояния льдопородной закладки и закономерностей ее деформирования в натуральных условиях, проведенные на наклоннозалегающем золоторудном месторождении Бадран в Якутии, включавшие визуальные наблюдения за поведением конструктивных элементов системы разработки и периодические измерения относительных смещений (конвергенции) бортов льдопородного целика, свидетельствуют об установившемся горном давлении и достаточной работоспособности искусственных целиков. Научное значение полученных результатов заключается в развитии концепции поведения мерзлых пород как сложной многокомпонентной и многофазной системы во взаимодействии с инженерными сооружениями, практическое – при оптимизации безопасных конструктивных параметров рациональной геотехнологии разработки рудных месторождений криолитозоны с льдопородной закладкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Необутов, Г.П. Исследование деформируемости льдопородной закладки / Г.П. Необутов, Д.Н. Петров // Наука и образование. 2008. № 1. С. 11-13.
2. Петров, Д.Н. Экспериментальные исследования закономерностей формирования льдопородной закладки / Д.Н. Петров, Г.П. Необутов, В.И. Слепцов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 4. С. 9-13.
3. Необутов, Г.П. Сопrotивляемость льдопородных материалов сжимающим нагрузкам / Г.П. Необутов, Д.Н. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 327-329.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PROPERTIES THE FILLING MATERIALS FROM FROZEN ICE-ROCK MIXES

© 2011 D.N. Petrov, G.P. Neobutov

Institute of Mining of the North named after N.V. Cherskiy SB RAS, Yakutsk

Results of experimental researches the laws of change the mechanical characteristics of ice-rock filling samples depending on such basic influencing factors, as the sizes of tested samples, size fractions of the firm filler, thermal-moisture condition of formation the felling material, and also deformability and working capacity of ice-rock filling are presented.

Key words: *filling of the worked-out space, ice-rock material, scale effect, grain-size structure, durability*