Записки Ленинградского Горного Института, том XIII, вып. 2, 1940
Annales de l'Institut des Mines à Leningrad, vol. XIII, liv. 2, 1940

Химически стойкие изделия каменного литья

Ассистент *И. Н. Ивин*

Chemically resistant Cast- Rock Products

Assist. *I. N. Ivin*

Введение

Наряду с общим развитием производительных сил в СССР за последние годы возникли совершенно новые отрасли промышленности. Одной из этих отраслей является петургия (каменное литье). Благодаря высоким физико-химическим свойствам изделий, получаемых из расплавов горных пород, эти изделия безусловно в недалеком будущем найдут широкое применение в различных областях промышленности. Одновременно с проявлением большого интереса к каменному литью остается невыясненным целый ряд вопросов технологии получения изделий, а равно и поведения этого материала в различных эксплоатационных условиях.

В целях частичного заполнения этого существенного пробела, автором настоящей работы освещаются вопросы:

1. Каменное литье как химически стойкий материал и методика исследования его химической стойкости.
2. Химико-минералогический состав и структурные образования изделий, полученных из расплавов горных пород.
3. Химическая стойкость изделий, полученных из расплавов различных горных пород.
4. Общие сведения о технологическом процессе производства химически стойких изделий из расплавов горных пород.

Для настоящей работы использованы материалы, полученные автором в результате трехлетней работы на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института.

1. Каменное литье как химически стойкий материал и методика исследований его химической стойкости

Первые попытки применения каменного литья как химически стойкого материала относятся к пятидесятым годам прошлого столетия. Однако лишь в последние годы в связи с бурным развитием промышленности изделия, полученные из расплавов горных пород как за границей, так и в СССР находят применение в ряде областей химической, металлургической и бумажной промышленности. Такое медленное внедрение каменного литья в промышленность в качестве кислотоупора объясняется отсутствием полных физико-химических и технологических характеристик этих изделий. Направление в исследовательских работах, принятое рядом организаций у нас в СССР по освоению и внедрению в промышленность каменного литья, характеризующееся тенденциями накопления эмпирических данных, как и следовало ожидать, себя не оправдало. Полученные этим путем данные при

отсутствии теоретического их обоснования, вполне естественно, вызывают недоверие нуждающейся в кислотоупорах промышленности.

Таким образом, вместо быстрого использования нового материала в качестве заменителя цветных металлов и специальных антикоррозионных сплавов, вопрос о применении его не вышел из области дискуссий, что имело следствием медленное развитие производства литых из камня изделий, а следовательно и недостаточное удовлетворение антикоррозионными материалами нуждающейся в них промышленности. Вместо того, чтобы дать промышленности полную характеристику антикоррозионных свойств и удовлетворить ее насущные потребности, ряд научных организаций продолжает работы по изысканию новых видов кислотоупорных материалов металлического, минерального и органического происхождения.

В области исследования химической стойкости каменного литья имеется ряд печатных и рукописных работ, но они посвящены не выяснению его антикоррозионных свойств, а главным образом, если можно так выразиться, пропаганде необходимости применения его в качестве заменителя применяющихся до сего времени металлических кислотоупоров. В результате до последнего времени остался нерешенным вопрос о том, что является решающим фактором, присущим каменному литью в его антикоррозионных свойствах. Авторы одних работ, пренебрегая структурно-минералогическими образованиями, утверждают, что решающим фактором химической устойчивости каменного литья является химический состав изделий, тогда как другие, не принимая во внимание химический состав, утверждают, что основным фактором химической устойчивости является кристаллическая структура изделия.

Безусловно, каждое из этих утверждений имеет свои основания, но эти основания вытекают не из серьезного анализа, а из результатов эмпирических данных и находятся в зависимости от условий опыта. Ставя антикоррозионные свойства каменного литья в зависимость только от одного какого-либо фактора в такой сложной системе, как силикат, безусловно, обе группы делают ошибку. Объективная оценка химической стойкости того или иного материала может быть получена при учете взаимодействия всех факторов, от которых зависят антикоррозионные свойства материала.

В каменном литье мы имеем дело с изделиями, состоящими из сложнокомпонентной системы, которая может проявлять себя по разному в различных условиях получения и испытания ее свойств. Исходным, безусловно, является химический состав, так как он в основном определяет дальнейший технологический процесс получения отливки, а равно и минералообразовательные процессы, происходящие в нем, в то же время элементы технологического процесса и, в частности, тепловой режим отдельно взятой отливки также оказывают влияние на свойства системы.

К примеру: из силикатной шихты определенного химического состава при различном тепловом режиме можно получить доброкачественную отливку с различными физико-химическими свойствами, то же самое — из силикатных шихт различного химического состава опять-таки при определенном для каждой из взятых шихт технологическом процессе можно получить отливку с совершенно идентичными физико-химическими свойствами. Таким образом, в каменном литье мы имеем дело с расплавом, который при различных технологических процессах может образовать различные комплексы минеральных агрегатов, по своему ведущих себя при испытаниях и производственной службе полученного из расплава материала.

Одновременно с этим на физико-химические свойства оказывают большое влияние и структурные соотношения минеральных компонентов отливки. Так, например, основной силикатный сплав одного и того же химического состава в стекловатом виде обладает очень низкими физико-химическими свойствами, тогда как этот же сплав, имея соотношение к кристаллической фазе 1:2 или 1:3, имеет более высокие физико-химические свойства. В то же время химический состав расплава обусловливает конечно и возможность получения тех или иных структурных и минеральных образований. При разрыве этих понятий как та, так и другая группа исследователей, освещая частные вопросы очень сложной системы, имеющей функциональную зависимость от своих составляющих, вместо выяснения

законов разрушения усложняет понимание их и толкает на совершенно не научный путь определения свойств материалов.

Только понимание взаимодействия всех возникающих факторов при производстве отливки из силикатного расплава и уяснение свойств этих факторов в отдельно взятом изделии позволят пролить свет на этот сложный вопрос.

Существующее многообразие методов исследования коррозионных свойств материалов, которыми пользуются при исследовании каменного литья, сводится к заимствованию заграничного опыта, где развитие методики исследования проходило так же анархично и хаотично, как и само капиталистическое производство. Если учесть, что опыт заграницы создавался на испытаниях различных материалов, подчас ничего общего с таким материалом, как каменное литье, не имеющих, то вскроется сомнительная ценность современных понятий о химической стойкости каменного литья.

Наиболее распространенными и применяющимися методами исследования антикоррозионных свойств силикатных материалов являются гравиометрические методы определения степени их устойчивости. При этих методах основными применяемыми единицами измерения химической устойчивости материала являются следующие.

1. Потеря в весе, выражающаяся в процентах к первоначальному весу:

$$K = \frac{M - Mo}{M} \times 100,$$

где M — вес образца до испытания, Mo — вес образца после испытания, K — коэфициент химической устойчивости.

2. Потеря в весе, выражающаяся в отношении к единице поверхности образца:

$$K = \frac{M - Mo}{S},$$

где K — коэфициент химической устойчивости,
M — вес образца до испытания,
Mo — вес образца после испытания,
S — поверхность образца.

Наиболее распространенными методами исследования химической стойкости материала являются — метод Каллаунер и Барта, метод Зегера и Крамера, метод лаборатории германских керамических заводов в Фридрихсфельде и др. Но все эти методы, основывающиеся на непродолжительности испытаний, однообразии реагирующих сред, своеобразном характере (порошок) испытываемого образца, очень далеки от реальных производственных условий, в которых материал выполняет свою службу. На основании испытаний материала по приведенным методам (несмотря на их распространенность) безусловно рискованно сооружать установку и вести производство химически стойкой аппаратуры.

Имея в виду, что в практике химической и металлургической промышленности имеем дело подчас с очень сложными и совершенно новыми химическими средами, разрушающе действующими на материал, следует думать, что такие методы испытаний не смогут дать объективные характеристики материала, которые бы дали основание применять его в производственных условиях.

В практике химической, металлургической и других областей промышленности, в которых имеет место коррозия, аппаратура будет всегда подвергаться разрушению со стороны поверхностей, соприкасающихся с реагентом, поэтому следует считать наиболее рациональным методом исследования такой метод, который устанавливает степень растворения образца на единицу поверхности в условиях того или иного производства. При этом время непрерывного действия реагента на испытываемый образец должно быть удлинено.

После испытаний образец должен быть исследован петрографически и испытан на механические свойства. При этом необходимо иметь в виду, что при всех без

исключения методах испытания на кислотоупорность мы абсолютно верных данных не получим и при оценке степени коррозии силикатного сплава нужно учитывать, что понятие „растворимости" силиката в кислотах является в большей части условным и имеющим большее значение при эксперименте, чем непосредственно в производственных условиях.

В производственных условиях (что имеет место и при эксперименте) мы будем иметь дело не только с чистой растворимостью и переходом тех или иных составных частей материала в ионное состояние, но и с разложением его, сопровождающимся выделением нерастворимых продуктов, зачастую маскирующих количественное выражение процессов коррозии. Поэтому сама по себе растворимость, или „величина потерь", в обычном понимании для силикатных сплавов еще не может служить критерием для качественной оценки материала. Необходимо при этом учитывать, что образующиеся на поверхности образца некоторые нерастворимые или трудно растворимые продукты, например гидрогель кремнекислоты, несмотря на то, что не могут служить в полном смысле слева защитной броней от дальнейшего процесса коррозии в виду своей пористости, — все же в некоторой мере задерживают его. Однако наиболее верной, хотя и требующей некоторых поправок, будет оценка кислотоупорности материала соответственно его количественным потерям. Степень же защиты нерастворимыми продуктами, выделяющимися на отливке, можно будет выяснить в производственных условиях при более длительном процессе испытаний и службы.

Для установления степени коррозии изделий каменного литья, выяснения вопросов, какие факторы, присущие испытываемому материалу, являются решающими при разрушении, и для сопоставления антикоррозионных качеств этого нового материала с другими, применяющимися в промышленности, автором проведен ряд наблюдений, которые суммированы в нижепомещаемых таблицах.

Образцы вырезались из доброкачественных изделий в виде призм и цилиндров с площадью до 27 $см^2$. Перед испытанием образцы тщательно промывались слабым раствором соляной кислоты, просушивались и взвешивались на аналитических весах. Затем образцы помещались в веримеровскую колбу с обратным холодильником емкостью в 250 $см^3$ и заливались реагентом. После кипячения в течение 5—10 часов образцы тщательно промывались дестиллированной водой, просушивались при температуре 80° и взвешивались. На основании результатов взвешиваний потери высчитывались и наносились на соответствующую диаграмму. Каждый образец был подвергнут пятисуточному беспрерывному действию реагента с обновлением его через каждые 5 часов.

Вытяжка анализировалась с целью выяснения, за счет чего происходит разрушение.

Испытанию был подвергнут ряд силикатных сплавов каменного литья, некоторые естественные горные породы и наиболее распространенный кислотоупорный материал — свинец. Такой метод испытаний позволяет установить степень разрушения в зависимости от времени, произвести оценку химической стойкости сплавов различного химического состава и структурных особенностей, а также сопоставить степень разрушения каменного литья со степенью разрушения наиболее распространенных химически стойких материалов.

Объем проведенных работ, которые в дальнейшем автором будут продолжены, конечно недостаточен, но тем не менее они дают право сделать первые предварительные выводы по антикоррозионной характеристике изделий из каменного литья, полученных из различных горных пород при различном технологическом процессе.

2. Химико-минералогический состав и структурные образования изделий, полученных из расплава горных пород

Изделия из онежского диабаза. Образцы отливок были получены в 1937 году с Московского камнелитейного завода и с опытной камнелитейной установки Ленинградского горного института.

Химический состав образцов, подвергнутых исследованию, характеризуется следующими данными:

П. п. п.	0,29
SiO_2	50,69
Al_2O_3	12,83
Fe_2O_3	6,12
TiO_2	2,56
FeO	9,80
MnO	0,34
CaO	8,39
MgO	5,84
Щелочей	2,89
	99,75%

Минералогический состав образцов представлен агрегатом, состоящим из основной массы бурого силикатного стекла, в котором произошло выделение кристаллов авгита, магнетита и лабрадора, образовавших полигонально-сферолитовую структуру (рис. 1). Соотношение стекла и кристаллической фазы может быть выражено как 1 : 3.

Рентгенометрические определения минерального состава исследуемого образца показали, что он состоит из магнетита, авгита и лабрадора (исследования производились в рентгенографической лаборатории Ленинградского горного института *инж. В. Н. Дубининой путем сравнения дебаеграммы каменного литья с дебаеграммами эталонных минералов*).

Изделия из шихты онежский диабаз и пикрит при соотношении этих пород 3 : 1. Образцы отливок автором были получены на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института.

Химический анализ этих изделий:

П. п. п.	0,22
SiO_2	49,10
Al_2O_3	11,29
Fe_2O_3	3,74
TiO_2	2,01
FeO	11,24
MnO	0,64
CaO	8,28
MgO	11,79
Щелочей	3,00
	101,31%

Микроструктура шлифа, взятого из этой отливки, полукристаллическая. Состоит из удлиненных кристаллов оливина и авгита, обычно пересекающихся, образуя неправильную решетку, промежутки которой заполнены темнобурым силикатным стеклом, пронизанным скелетными образованиями, которые трудно определимы под микроскопом. Участками кристаллы оливина и авгита изометричны и не соприкасаются друг с другом. Длина кристаллов максимально до 1,8—2 *мм* (рис. 2). Отношение стекла к кристаллической фазе может быть выражено как 1 : 5.

Рентгенометрический анализ минералогического состава данной отливки показал присутствие в ее кристаллической фазе оливина, авгита и магнетита.

Изделия из хвостов пудожского диабаза. Образцы отливок были автором получены на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института.

Химический состав этих изделий:

П. п. п.	не определялись
SiO_2	43,03
Al_2O_3	10,51
Fe_2O_3	8,48
TiO_2	4,87
FeO	16,78
MnO	0,35
CaO	5,70
MgO	7,97
Щелочей	2,97
	100,66%

Отливка под микроскопом состоит из основной массы темного стекла, в котором включены дендриты магнетита, лейсты авгита и бесцветного плеохроирующего минерала, определить который микроскопически не удалось (рис. 3).

Рентгенометрический анализ данного образца показал наличие в нем магнетита, авгита и диопсида.

Ввиду того, что отливки из пудожского диабаза автором получены впервые, этот материал представлял, с точки зрения его химической и минеральной природы, особый интерес, вследствие этого был сделан повторный рентгенометрический анализ специально для этого хорошо раскристаллизованного образца. Повторный анализ показал, что наиболее вероятный минералогический состав продуктов плавки пудожского диабаза — магнетит и диопсид. Присутствие диопсида приходится считать более вероятным, чем авгита, потому что большему числу линий эталона диопсида находятся соответствующие линии на порошкограмме исследуемого образца. Однако и на повторной порошкограмме остались не расшифрованными 5 линий весьма слабой интенсивности с $J=$ от 0,5 до 2 баллов. Несмотря на результаты второго рентгенометрического анализа, автор находит возможным определить минералогический состав кристаллической модификации в основном из магнетита, авгита и диопсида.

Изделия из волновахского базальта (УССР). Образцы отливок из волновахского базальта автором были получены впервые в связи с проведенной работой по предварительному опробованию пригодности некоторых украинских диабазов и базальтов для каменного литья на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института. Химический состав:

П. п. п.	0,30
SiO_2	45,15
Al_2O_3	10,38
TiO_2	5,02
Fe_2O_3	5,04
FeO	9,34
MnO	0,52
CaO	10,95
MgO	10,21
Щелочей	2,87
	99 78%

Микроскопические исследования показали, что продукты плавки волновахского базальта состоят из полукристаллической массы. В основной массе краснобурого стекла включения кристаллического вещества представлены структурами роста, отдельными звездчатами сферолитами и вытянутыми микролитами.

Расположенные в разных направлениях кристаллические образования микролитов создают неправильную решетку. Иногда в шлифе встречаются оплавленные реликты плагиоклаза (рис. 4).

Изделия из лубнинских диабазов. Образцы отливок из лубнинских диабазов впервые были получены автором в связи с проведенной работой по предварительному опробованию пригодности некоторых украинских диабазов и базальтов для каменного литья на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института.

Химический состав (средний из 4 анализов):

П. п. п.	0,41
SiO_2	48,63
Al_2O_3	14,36
Fe_2O_3	4,91
TiO_2	2,18
FeO	9,86
MnO	0,29
CaO	11,16
MgO	6,65
Щелочей	2,39
	100,84%

Микроскопические исследования показали, что продукты плавки лубнинских (исачевских) диабазов состоят из основной массы стекла, в котором включено кристаллическое вещество в виде лейст, определенных как авгит, и в виде недоразвитых дендритных образований, определенных как магнетит.

Структура полукристаллическая, звездчато-табличатая (рис. 5).

В целях выяснения минеральной природы продуктов плавки лубнинских диабазов проведено несколько рентгеноанализов образцов. Продукты плавки получены в лабораторной дуговой электропечи. Исследование порошкограммы этого образца показало, что его кристаллическая часть состоит главным образом из авгита; магнетит, плагиоклазы отсутствуют, наличие оливина мало вероятно.

Неоднократные исследования рентгенометрическим способом образцов, полученных в лабораторной криптоловой печи, указывают на наличие в их кристаллической модификации авгита, магнетита и лабрадора (?). Повторные исследования образцов, полученных от плавления лубнинского диабаза с 40% доломита в дуговой электропечи, показали наличие в образцах одного авгита и кроме того ряд линий порошкограммы остался не расшифрованным.

Исследование образцов изделий, полученных в производственных условиях и в целях лучшей раскристаллизации их подвергнутых длительной термической обработке, показало наличие в этих изделиях доминирующего количества авгита и незначительного количества лабрадора, кроме того становится под сомнение наличие магнетита.

Данные петрографических и рентгенометрических исследований изделий каменного литья, различного по химическому составу, позволяют сделать интересный вывод, а именно — в пределах определенных соотношений химических компонентов в шихтах, из расплава которых отливается каменное изделие, формируется определенный минеральный агрегат, состоящий кроме силикатного стекла из очень узкого круга минералов:

Состав шихты	Минеральный состав отливки
1. Онежский диабаз	Магнетит, авгит, (лабрадор?)
2. Онежский диабаз + пикрит 3:1	Авгит, (оливин?), магнетит
3. Пудожский диабаз	Магнетит, авгит, диопсид
4. Волновахский базальт	Авгит, магнетит, (лабрадор?)
5. Лубнинский (исачевский) диабаз.	Авгит, лабрадор — мало, (магнетит?)

Таким образом, круг минералов, образующихся в отливках каменного литья, сводится всего лишь к четырем, приведенным в таблице. Такое минералогическое однообразие изделий, полученных из различных шихт, безусловно предполагает и однообразие физико-химических свойств этих изделий, что в свою очередь при выяснении факторов, влияющих на химическую стойкость изделий, отлитых из камня, позволяет утверждать, что при оценке химстойкости необходимо учитывать в первую очередь химический состав и условия производства, которые предопределяют минеральное строение отливки, а следовательно и ее свойства.

3. Химическая стойкость каменного литья различных структур и химического состава

В целях получения объективной оценки химической стойкости изделий из каменного литья различного химического состава и различной технологии производства, для относительной характеристики их автором исследованы ряд образцов в совершенно одинаковых условиях при действии различных кислот и при различной их концентрации. Результаты исследований приводятся в виде таблиц по каждому в отдельности виду исследуемого материала, а затем сведены в таблицах, где характеризуются их относительные антикоррозионные качества.

Учитывая, что концентрированные кислоты в меньшей степени корродируют материал, автором были приняты такие концентрации, которые наиболее активно

проявляют свои агрессивные свойства по отношению к материалу, подвергающемуся коррозии.

Такими агрессорами были приняты:

1) $3N$ HCl = 25% HCl по объему = 11% по HCl
2) $5N$ HCl = 41% „ „ „ = 18% „ „
3) $3N$ HNO_3 = 21% HNO_3 „ „ = 19% „ HNO_3
4) $5N$ HNO_3 = 35% „ „ „ = 31,5% „ „
5) $3N$ H_2SO_4 = 8% H_2SO_4 „ „ = 15% „ H_2SO_4
6) $5N$ H_2SO_4 = 14% „ „ „ = 24,5% „ „
7) $3N$ H_3PO_4 = 7% H_3PO_4 „ „ = 10% „ H_3PO_4
8) $6N$ H_3PO_4 = 14% „ „ „ = 20% „ „
9) $3N$ $H_2SO_4 + 3N HNO_3$ (1 : 1)
10) $3N$NaOH

Таблица 1

Результаты определения кислотостойкости изделий, полученных из расплава чистого онежского диабаза

Вес образца в *г*	15,0136	14,6705	14,6290	14,8700	15,0405	14,7880	14,6445	14,9900
Площадь образца в *см*²	26,4366	26,3664	26,3912	26,3778	26,2778	26,1754	25,9790	26,2970
Реагент / Потеря веса в *г* на *см*² после	$3N$ HCl	$5N$ HCl	$3N$ HNO_3	$3N$ H_2SO_4	$3N$ H_3PO_4	$6N$ H_3PO_4	$3N$ H_2SO_4 + $3N$ HNO_3 (1 : 1)	$3N$ NaOH
5 ч. кипячения	0,0014	0,0013	0,0006	0,0008	0,0008	0,0011	0,0007	0,0015
10 » »	0,0023	0,0019	0,0009	0,0013	0,0012	0,0017	0,0011	0,0024
15 » »	0,0031	0,0025	0,0012	0,0017	0,0015	0,0023	0,0015	0,0038
20 » »	0,0040	0,0030	0,0015	0,0022	0,0018	0,0030	0,0019	0,0055
25 » »	0,0048	0,0035	0,0019	0,0026	0,0021	0,0036	0,0024	0,0072
30 » »	0,0057	0,0042	0,0022	0,0032	0,0025	0,0042	0,0029	0,0086
35 » »	0,0066	0,0051	0,0026	0,0038	0,0028	0,0049	0,0033	0,0098
40 » »	0,0074	0,0057	0,0030	0,0043	0,0031	0,0056	0,0038	0,0111
45 » »	0,0082	0,0064	0,0033	0,0049	0,0035	0,0063	0,0043	0,0129
50 » »	0,0091	0,0072	0,0037	0,0055	0,0038	0,0069		
60 » »	0,0105	0,0083	0,0048	0,0070	0,0047	0,0081	Испытания	
70 » »	0,0120	0,0094	0,0053	0,0086	0,0057	0,0095	прекращены	
80 » »	0,0135	0,0107	0,0069	0,0096	0,0068	0,0103		
90 » »	0,0150	0,0119	0,0080	0,0118	0,0074	0,0121		
100 » »	0,0165	0,0131	0,0091	0,0133	0,0085	0,0135		
110 » »	0,0183	0,0145	0,0104	0,0151	0,0096	0,0149		
120 » »	0,0200	0,0163	0,0117	0,0168	0,0106	0,0162		

Если учесть, что удельный вес каменного литья в среднем к применяющимся химически стойким металлам и сплавам относится как 1 : 3, несравненную дешевизну этого материала и кроме того неограниченные по масштабу возможности его изготовления, то следует сделать вывод, что при потерях, выражающихся не выше 0,02 *г* на 1 *см*² после кипячения образца в течение 5 суток, изделия диабазового литья возможно широко применять в химической промышленности.

Исследование вытяжки после кипячения в течение 50 часов показало, что в реагирующий раствор HCl из испытываемого образца перешло от суммы общей потери за это время:

SiO_2 . . . . . 34,11%
R_2O_3 . . . . . 43,11 „
CaO . . . . . 16,95 „
MgO . . . . . 6,80 „

Утверждать, что растворение произошло за счет кристаллической или аморфной модификации, при наличии данных, которыми автор располагает, нет достаточных оснований, однако всего вероятнее, что основная масса растворимого есть результат разложения кристаллической части, менее в химическом отношении устойчивой при химическом составе подвергнутого испытанию изделия.

Кроме того, по просьбе автора, образцы изделий из онежского диабаза исследовались в Институте прикладной химии аналитиком И. Косяковой. Образцы, под-

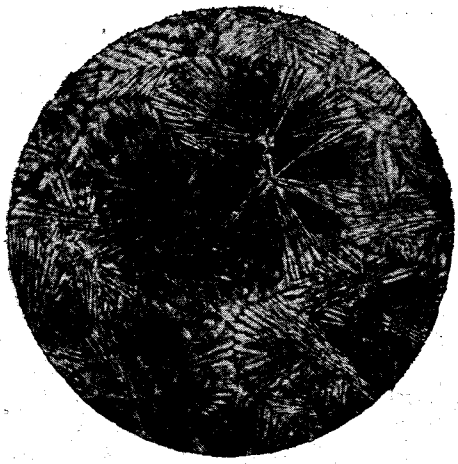


Рис. 1. Онежский диабаз (плавленый).



Рис. 2. Онежский диабаз (плавленый) + пикрит.

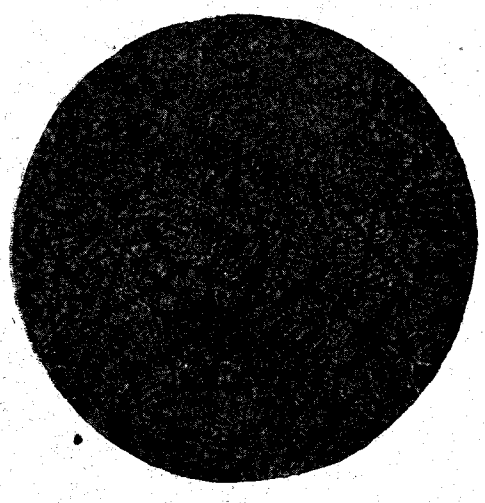


Рис. 3. Пудожский диабаз (плавленый).

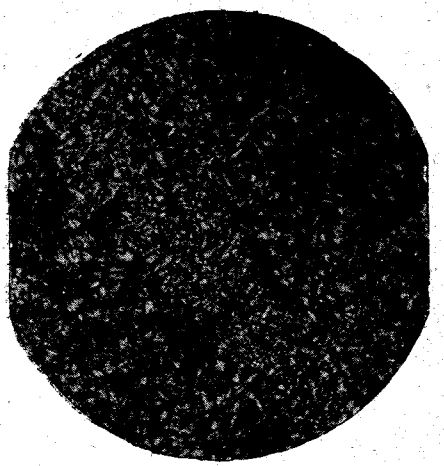


Рис. 4. Волновахский базальт (плавленый).



Рис 5. Исачевский (лубнинский) диабаз (плавленый)

вергнутые испытанию на химическую устойчивость в условиях реакции азотной кислоты (уд. вес 1,4) с хлористым натрием в молекулярном соотношении 3 : 1 при 100° С в течение 100 часов, показали результаты, приведенные в табл. 2, потери выражены в %% и в граммах на *м²/час*.

Таблица 2

Шихта, из которой получен образец	№ образца	Условия испытаний	Потери в %	Потери в *г/м²/час*
Диабаз онежский	1	Жидкая фаза реакции при 100°	0,13	0,07
„ „	2		0,08	0,05
„ „	3	Газовая фаза 100°	0,09	0,06

Таким образом, по международной таблице стойкости изделия, полученные из онежского диабаза, могут быть отнесены к 1-й группе „весьма стойких материалов".

Таблица 3

Результаты определения кислотостойкости изделий, полученных из расплава шихты онежского диабаза + пикрит (3 : 1)

Вес плитки в *г*	16,1393	14,7180	15,4595	13,8790	16,4748	15,7475	14,8075	16,6416	16,4836	16,4977
Площадь плитки в *см²*	27,2914	26,8140	27,1876	26,5592	27,7204	27,5028	27,1178	27,8548	27,8780	27,9706
Кислота / Потеря веса в *г* на *см²* после:	3*N* HCl	5*N* HCl	3*N* HNO_3	5*N* HNO_3	3*N* H_2SO_4	5*N* H_2SO_4	3*N* H_3PO_4	6*N* H_3PO_4	3*N* HCl + 3*N* HNO_3 (1 : 1)	3*N* H_2SO_4 + 3*N* HNO_3 (1 : 1)
5 ч. кипяч.	0,0016	0,0017	0,0014	0,0012	0,0018	0,0019	0,0015	0,0017	0,0015	0,0014
10 » »	0,0025	0,0028	0,0021	0,0019	0,0026	0,0027	0,0021	0,0024	0,0022	0,0021
15 » »	0,0033	0,0038	0,0026	0,0024	0,0033	0,0034	0,0027	0,0031	0,0029	0,0027
20 » »	0,0041	0,0048	0,0031	0,0030	0,0040	0,0042	0,0032	0,0038	0,0035	0,0033
25 » »	0,0048	0,0058	0,0037	0,0036	0,0047	0,0049	0,0037	0,0044	0,0041	0,0039
30 » »	0,0056	0,0068	0,0041	0,0042	0,0054	0,0056	0,0042	0,0050	0,0046	0,0045
35 » »	0,0064	0,0078	0,0045	0,0048	0,0061	0,0063	0,0047	0,0057	0,0053	0,0052
40 » »	0,0071	0,0088	0,0050	0,0054	0,0069	0,0071	0,0052	0,0062	0,0059	0,0058
45 » »	0,0079	0,0099	0,0054	0,0059	0,0076	0,0077	0,0056	0,0068	0,0064	0,0064
50 » »	0,0087	0,0110	0,0059	0,0066	0,0084	0,0085	0,0062	0,0075	0,0070	0,0070
60 » »	0,0100	0,0126	0,0067	0,0073	0,0099	0,0095	0,0071	0,0086		
70 » »	0,0115	0,0143	0,0076	0,0083	0,0116	0,0108	0,0080	0,0099	Испытания прекращены	
80 » »	0,0131	0,0159	0,0084	0,0093	0,0132	0,0122	0,0090	0,0111		
90 » »	0,0145	0,0176	0,0093	0,0103	0,0148	0,0136	0,0099	0,0123		
100 » »	0,0160	0,0192	0,0101	0,0112	0,0165	0,0150	0,0108	0,0136		
110 » »	0,0179	0,0213	0,0111	0,0125	0,0185	0,0168	0,0118	0,0149		
120 » »	0,0197	0,0233	0,0120	0,0136	0,0202	0,0185	0,0127	0,0161		

Результаты испытаний показывают, что против всех кислот изделия из расплава диабаз + пикрит химически устойчивы. По сравнению с изделиями из чистого онежского диабаза устойчивость этих изделий практически одинакова.

Исследования этого вида образцов, произведенные в Институте прикладной химии, показывают несколько отличный результат, но тем не менее позволяют отнести образцы к достаточно стойким материалам (см. табл. 4).

До сего времени среди исследователей продолжаются споры: одни утверждают, что изделия, полученные из шихты диабаз + пикрит, по своей химической стойкости стоят ниже по сравнению с изделиями из чистого онежского диабаза, так как химический состав изделий из шихты диабаз + пикрит, якобы, в большей мере способствует выщелачиванию, тогда как другие положительно говорят о высокой стойкости изделий из диабаз + пикрит, происходящей за счет образования на корродирующейся поверхности защитной брони из гидрогеля кремнекислоты. Ни одно из этих утверждений не подтверждается данными опыта, проведенного автором (см. табл. 1 и 3).

Таблица 4

Шихта, из которой получен образец	№ образца	Условия испытаний	Потери в %	Потери в $г/м^2/час$
Диабаз онежский + пикрит 3:1	1	Жидкая фаза реакции при 100°	0,43	0,31
	2		0,36	0,26
	3	Газовая фаза	0,29	0,22

Имея в виду, что химическим составом шихт и технологическим процессом при получении изделий из чистого онежского диабаза и из шихты диабаз + пикрит созданы условия образования как в той, так и в другой отливке одинаковых минеральных составляющих, следует полагать, что и их химическая устойчивость одинакова. Отсюда надо сделать вывод, что химическая устойчивость изделий из каменного литья является функцией от минералогического состава и структуры этих изделий.

Таблица 5

Результаты определения кислотостойкости изделий, полученных из расплава хвостов пудожских диабазов

Вес плитки в г		17,8642	15,4500	17,0980	16,9470	17,5936	17,5800	17,3903	17,2685	17,8552	16,3908
Площадь плитки в $см^2$		28,7380	27,4488	28,3426	28,1588	28,6800	28,7772	28,5816	28,7380	28,6980	28,3220
Потеря веса в г на $см^2$ после	Кислота	3N HCl	5N HCl	3N HNO_3	5N HNO_3	3N H_2SO_4	5N H_2SO_4	3N H_3PO_4	6N H_3PO_4	3N HCl + 3N HNO_3 (1:1)	3N H_2SO_4 + 3N HNO_3 (1:1)
5 ч. кипячения . .		0,0029	0,0035	0,0012	0,0009	0,0018	0,0019	0,0014	0,0023	0,0022	0,0012
10 » »		0,0048	0,0054	0,0019	0,0016	0,0028	0,0030	0,0022	0,0035	0,0034	0,0019
15 » »		0,0068	0,0069	0,0025	0,0024	0,0040	0,0045	0,0028	0,0049	0,0049	0,0026
20 » »		0,0088	0,0082	0,0031	0,0031	0,0051	0,0060	0,0035	0,0065	0,0066	0,0034
25 » »		0,0108	0,0094	0,0038	0,0040	0,0065	0,0076	0,0042	0,0080	0,0084	0,0043
30 » »		0,0128	0,0108	0,0046	0,0049	0,0079	0,0093	0,0050	0,0096	0,0103	0,0052
35 » »		0,0147	0,0120	0,0054	0,0058	0,0095	0,0112	0,0058	0,0112	0,0128	0,0063
40 » »		0,0165	0,0134	0,0062	0,0067	0,0112	0,0130	0,0067	0,0128	0,0149	0,0074
45 » »		0,0182	0,0148	0,0071	0,0078	0,0129	0,0148	0,0075	0,0144	0,0171	0,0086
50 » »		0,0198	0,0160	0,0080	0,0088	0,0147	0,0166	0,0083	0,0161	0,0194	0,0099
60 » »		0,0222	0,0176	0,0095	0,0106	0,0178	0,0191	0,0099	0,0189		
70 » »		0,0247	0,0187	0,0111	0,0124	0,0211	0,0215	0,0115	0,0220	Испытания прекращены	
80 » »		0,0270	0,0195	0,0128	0,0142	0,0245	0,0237	0,0130	0,0249		
90 » »		0,0291	0,0206	0,0143	0,0158	0,0279	0,0257	0,0145	0,0304		
100 » »		0,0311	0,0215	0,0159	0,0173	0,0308	0,0277	0,0160	0,0324		
110 » »		0,0340	0,0226	0,0179	0,0192	0,0349	0,0301	0,0181	0,0337		
120 » »		0,0365	0,0238	0,0197	0,0210	0,0388	0,0326	0,0201	0,0371		

Испытания каменного литья такой высокой основности как пудожский диабаз проведены впервые. Данные испытаний с очевидностью подтверждают возможность применения в качестве кислотоупоров литья из расплавов значительной основности.

Результаты испытаний показывают, что наибольшую коррозию образец испытывает в 5 *N* кислотах, причем кривая коррозии с течением времени не затухает, а равномерно поднимается.

Низкая химическая стойкость плавленого лубнинского диабаза (см. табл. 7) объясняется большой пористостью испытывавшегося образца, которая в свою очередь явилась следствием подсадки искусственных центров кристаллизации в виде размельченного технического Al_2O_3, не прокаленного перед введением его в расплав. Плотнокристаллические разности плавленого лубнинского диабаза имеют более высокую химстойкость.

Таблица 6

Результаты определения кислотостойкости изделий, полученных из расплава волновахских базальтов

Вес плиток в *г*	14,8490	15,8200	15,7150	16,2658	15,5620	15,2773	14,3353	15,7786	14,3168	15,8220
Площадь плитки в *см*²	27,1750	27,4954	27,4723	27,7202	27,5496	27,3590	26,7948	27,4894	26,9142	27,3596
Потеря веса в *г* на *см*² после: / Кислота	3*N* HCl	5*N* HCl	3*N* HNO_3	5*N* HNO_3	3*N* H_2SO_4	5*N* H_2SO_4	3*N* H_3PO_4	6*N* H_3PO_4	3*N* HCl + 3*N* HNO_3 (1 : 1)	3*N* H_2SO_4 + 3*N* HNO_3 (1 : 1)
5 ч. кипячения . .	0,0043	0,0050	0,0029	0,0017	0,0038	0,0045	0,0028	0,0046	0,0045	0,0028
10 » »	0,0076	0,0085	0,0054	0,0048	0,0071	0,0089	0,0049	0,0088	0,0098	0,0057
15 » »	0,0105	0,0118	0,0078	0,0075	0,0104	0,0132	0,0072	0,0134	0,0148	0,0091
20 » »	0,0132	0,0149	0,0103	0,0098	0,0136	0,0170	0,0098	0,0183	0,0177	0,0142
25 » »	0,0159	0,0179	0,0128	0,0119	0,0166	0,0208	0,0122	0,0226	0,0244	0,0189
30 » »	0,0186	0,0209	0,0153	0,0140	0,0197	0,0244	0,0147	0,0270	0,0290	0,0234
35 » »	0,0213	0,0245	0,0177	0,0161	0,0227	0,0281	0,0174	0,0317	0,0334	0,0276
40 » »	0,0239	0,0275	0,0202	0,0181	0,0256	0,0317	0,0201	0,0360	0,0379	0,0318
45 » »	0,0264	0,0306	0,0225	0,0200	0,0285	0,0352	0,0229	0,0405	0,0422	0,0356
50 » »	0,0289	0,0336	0,0249	0,0220	0,0313	0,0387	0,0255	0,0449	0,0466	0,0395
60 » »	0,0330	0,0383	0,0285	0,0249	0,0354	0,0441	0,0307	0,0519		
70 » »	0,0369	0,0421	0,0324	0,0276	0,0392	0,0486	0,0360	0,0592	Исследования закончены	
80 » »	0,0408	0,0459	0,0360	0,0302	0,0430	0,0526	0,0414	0,0662		
90 » »	0,0446	0,0501	0,0395	0,0330	0,0469	0,0569	0,0467	0,0733		
100 » »	0,0484	0,0540	0,0429	0,0357	0,0505	0,0610	0,0520	0,0797		
110 » »	0,0528	0,0584	0,0472	0,0389	0,0552	0,0658	0,0575	0,0867		
120 » »	0,0569	0,0625	0,0512	0,0422	0,0598	0,0708	0,0634	0,0939		

Таблица 7

Результаты определения кислотостойкости изделий, полученных из расплава лубнинских диабазов

(Плавл. исачевский диабаз)

Вес плитки в *г*	13,9685	14,0920	14,0745	14,3210	12,6200	12,6750	12,6798	20,6232
Площадь плитки в *см*²	26,6814	26,6674	26,6584	26,8070	26,8132	24,6802	25,3588	29,9084
Потеря веса в *г* на *см*² после: / Реагент	3*N* HCl	5*N* HCl	3*N* HNO_3	5*N* HNO_3	3*N* H_2SO_4	3*N* H_3PO_4	3*N* H_2SO_4 + 3*N* HNO_3 (1 : 1)	3*N* NaOH
5 ч. кипячения . .	0,064	0,079	0,015	0,017	0,014	0,007	0,018	0,001
10 » »	0,167	0,211	0,029	0,033	0,025	0,011	0,033	0,002
15 » »	0,274	0,374	0,044	0,050	0,034	0,018	0 049	0,003
20 » »	0,367	0,448	0,057	0,060	0,041	0,023	0,064	0,005
25 » »	0,448	0,510	0,070	0,077	0,047	0,029	0,075	0,007
30 » »	0,515	0,522	0,080	0,089	0,052	0,035	0,086	0,008
35 » »	0,519	0,524	0,090	0,099	0,057	0,040	0,095	0,009
40 » »	—	0,526	0,100	0,108	0,062	0,045	0,102	0,010
45 » »	—	0,527	0,105	0,116	0,066	0,050	0,109	0,011
50 » »	—	0,528	0,113	0,124	0,069	0,056	0,115	0,012

В целях сопоставления кислотостойкости изделий из каменного литья были проведены испытания в тех же условиях наиболее распространенного кислотоупора — свинца.

Результаты испытания приводятся в табл. 8.

Проявление интенсивной коррозии на свинец HNO_3 и смесью кислот HCl и H_2SO_4 с HNO_3 известно, но при исследовании автора интересовали количественные потери во времени.

Таблица 8

Результаты определения кислотостойкости образцов свинца

Вес плитки в *г*	77,9300	76,5770	78,1667	75,7743	80,5543	82,2738	79,9805	75,7950	88,3518	79,4410
Площадь плитки в *см*²	30,1244	29,8132	30,2220	29 9402	30,6016	30,6290	30 4800	29,7816	30,8244	30,3640
Потеря веса в *г* на *см*² после: / Кислота	3*N* HCl	5*N* HCl	3*N* HNO_3	5*N* HNO_3	3*N* H_2SO_4	5*N* H_2SO_4	3*N* H_3PO_4	6*N* H_3PO_4	3*N* HCl + 3*N* HNO_3 (1 : 1)	3*N* H_2SO_4 + 3*N* HNO_3 (1 : 1)
5 ч. кипячения . .	0,0107	0,1693	0,1233	2,5309	0,0003	0,0000	0,0050	0,0093	0,1546	1,0510
10 » »	0,0189	0,3151	1,9815	Полное	0,0006	0,0005	0,0096	0,0196	0,3112	2,0971
15 » »	0,0266	0,4792	2,5864	раство-	0,0009	0,0013	0,0161	0,0286	0,4647	2,6163
20 » »	0,0342	0,6391	Полное	рение	0,0011	0,0019	0,0217	0,0398	0,6161	Полное
25 » »	0,0424	0,8075	раство-		0,0012	0,0026	0,0268	0,0492	0,7705	раство-
30 » »	0,0510	0,9745	рение		0,0014	0,0033	0,0327	0,0592	0,9249	рение
35 » »	0,0604	1,1381			0,0017	0,0041	0,0381	0,0699	1,0805	
40 » »	0,0695	1,3067			0,0020	0,0049	0,0441	0,0798	1,2353	
45 » »	0,0789	1,4798			0,0023	0,0056	0,0500	0,0895	1,3901	
50 » »	0,0877	1,6278			0,0026	0,0063	0,0555	0.0993	1,5461	
60 » »	0,1022	1,8901			0,0027	0,0069	0,0632	0,1113	Испытание	
70 » »	0,1157	2,1771			0,0028	0,0075	0,0697	0,1240	прекра-	
80 » »	0,1292	2,4437			0,0029	0,0082	0,0767	0,1864	щено	
90 » »	0,1434	2.5686			0,0032	0,0082	0,0836	0.1488		
100 » »	0.1552	Рас-			0,0035	0,0094	0,0905	0,1613		
110 » »	0 1691	твире-			0,0039	0,0107	Испытание			
120 » »	0,1828	ние			0,0045	0,0123	прекращено			

Выводы. На основании приведенных выше таблиц можно сделать следующие выводы:

1. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в 3*N* HCl обладают изделия, полученные из чистого онежского диабаза и шихты онежского диабаза с пикритом при соотношении этих пород 3 : 1. Неоднородность химических составов и различие структур при почти одинаковых минеральных составляющих и степени кристаллизации этих двух видов материалов позволяют их считать одинаково химически устойчивыми против 3*N* HCl. Более низкую химическую стойкость имеют изделия, полученные из расплава хвостов пудожских диабазов, но и эти изделия, благодаря их дешевизне, успешно могут быть применимы как кислотоупоры. Сравнительные антикоррозионные свойства исследуемых материалов приводятся на рис. 6.

2. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в 5*N* HCl обладают изделия, полученные из расплава чистого онежского диабаза. Очень незначительно по степени коррозии отстают изделия, полученные из расплава шихты онежского диабаза с пикритом при соотношении 3 : 1, а также и из расплава хвостов пудожских диабазов, что позволяет их считать также химически устойчивыми. Сравнительные антикоррозионные свойства приводятся на рис. 7.

3. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в 3*N* HNO_3 обладают изделия, полученные из расплава чистого онежского диабаза и расплава шихты диабаза с пикритом при соотношении 3 : 1. Однако изделия из расплава хвостов пудожских диабазов также могут считаться по отношению к указанному реагенту вполне химически устойчивыми.

Сравнительные антикоррозионные свойства приводятся на рис. 8.

4. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в 3*N* H_2SO_4 обладают изделия из свинца, хотя необходимо учесть, что после 45 часов испытания образец заметно интенсивней корродируется.

Наиболее устойчивыми при действии 3*N* H_2SO_4 на изделия каменного литья необходимо считать изделия, полученные из расплава чистого онежского диабаза и шихты диабаза с пикритом при соотношении 3 : 1. Однако не исключается возможность использовать в качестве кислотоупора и изделия из хвостов пудожских диабазов. Сравнительные антикоррозионные свойства приводятся на рис. 9.

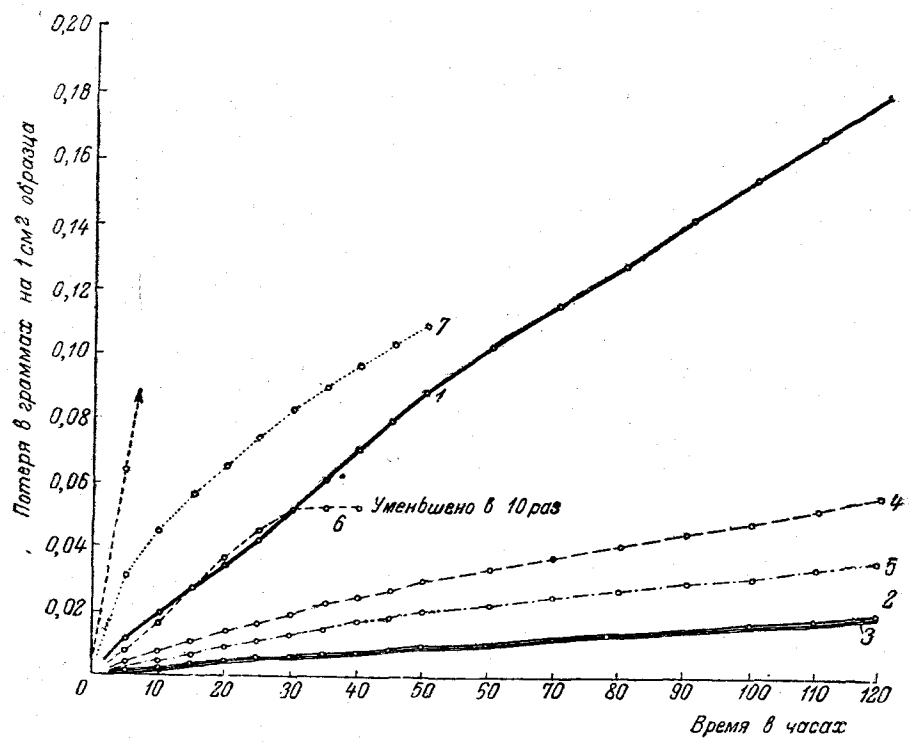


Рис. 6. Химстойкость каменного литья и свинца в 3 *N* HCl при кипячении.

1 — свинец; *2* — плавленый онежский диабаз; *3* — плавленый онежский диабаз с пикритом (3 : 1); *4* — плавленый волновахский базальт; *5* — плавленый пудожский диабаз; *6* — плавленый исачевский диабаз; *7* — естественный исачевский диабаз (те же обозначения на рис. 7—11).

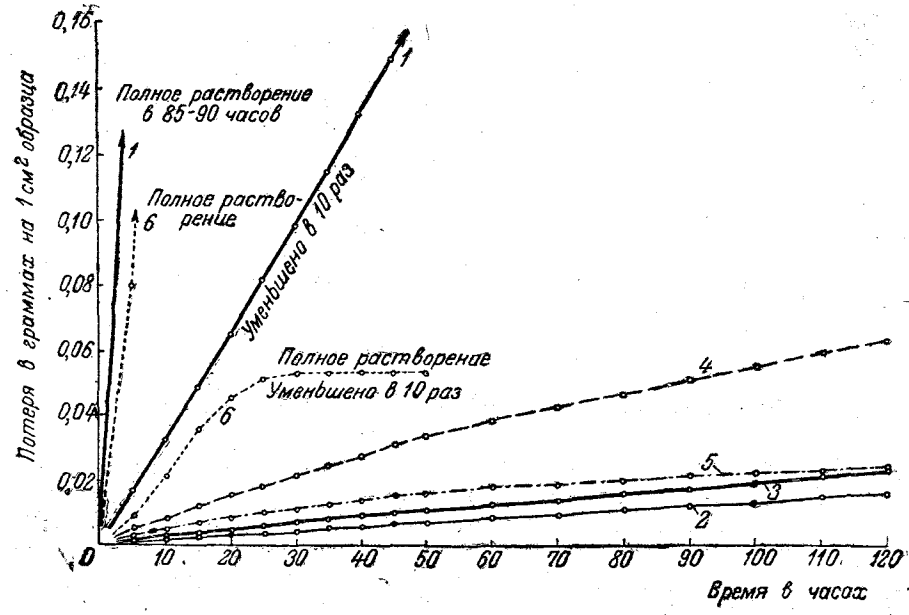


Рис. 7. Химстойкость каменного литья и свинца в 5 *N* HCl при кипячении.

5. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в $3N\ H_3PO_4$ обладают изделия, полученные из расплавов онежского диабаза и шихты диабаза с пикритом при соотношении 3 : 1. Как и при действии $3N$ HCl, эти изделия практически одинаково стойки.

Изделия, полученные из расплава хвостов пудожских диабазов, по химической стойкости против вышеприведенных изделий в $3N\ H_3PO_4$ стоят сравнительно ниже, однако могут быть применяемы как достаточно стойкие изделия. Сравнительные антикоррозионные свойства приводятся на рис. 10.

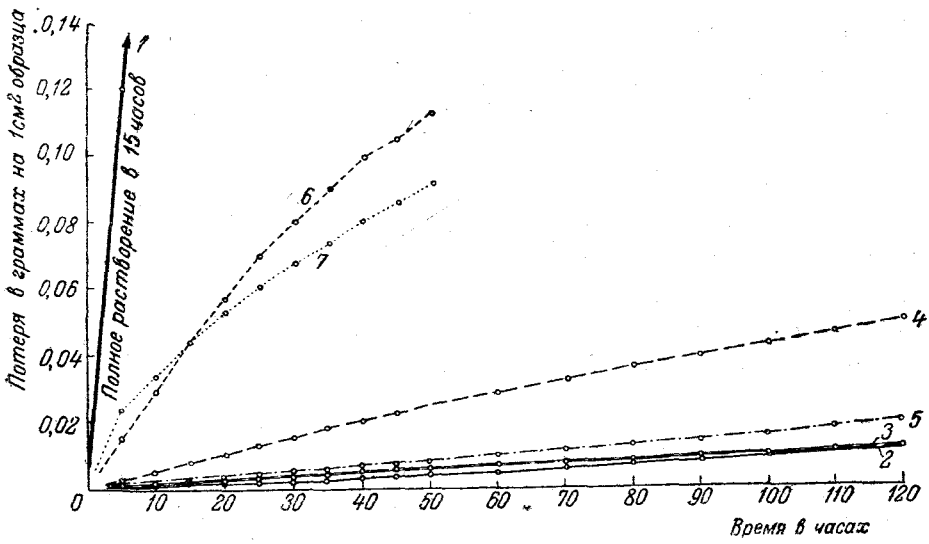


Рис. 8. Химстойкость каменного литья и свинца в 3 N HNO_3 при кипячении.

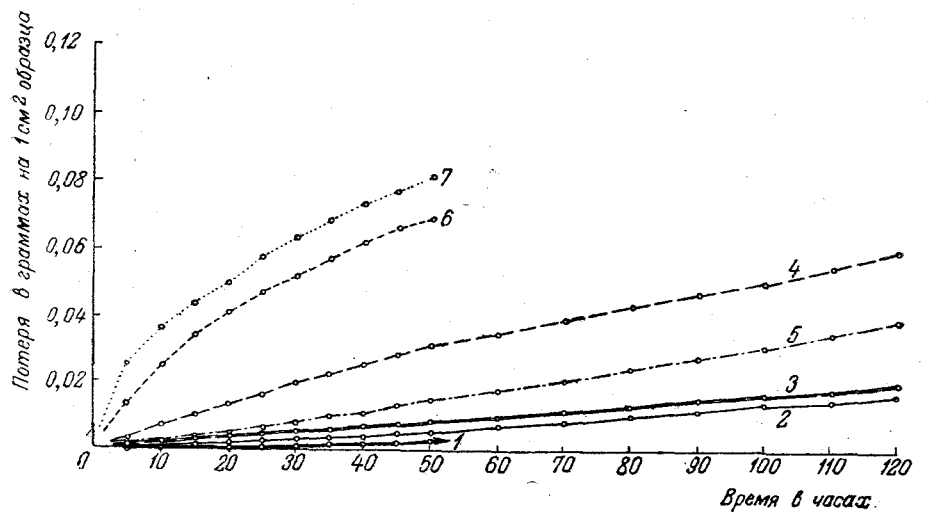


Рис. 9. Химстойкость каменного литья и свинца в 3 N H_2SO_4 при кипячении.

6. Наивысшей химической стойкостью из подвергнутых испытанию в смеси кислот $3N\ H_2SO_4 + 3N\ HNO_3$ (1 : 1) обладают изделия, полученные из расплава онежского диабаза и шихты диабаза с пикритом при соотношении 3 : 1. Незначительно отстоят по своей стойкости изделия из хвостов пудожских диабазов. Поэтому все эти три вида шихт могут быть использованы для изготовления изделий, химически стойких против действия вышеприведенной смеси кислот. Сравнительные антикоррозионные свойства приводятся на рис. 11.

7. При определенном технологическом процессе можно получить антикоррозионные изделия из расплавов даже основных силикатных шихт (примерно, состава хвостов пудожских диабазов, химанализ см. на стр. 37). Поэтому химический состав шихты еще целиком не определяет химической стойкости полученных из нее изделий.

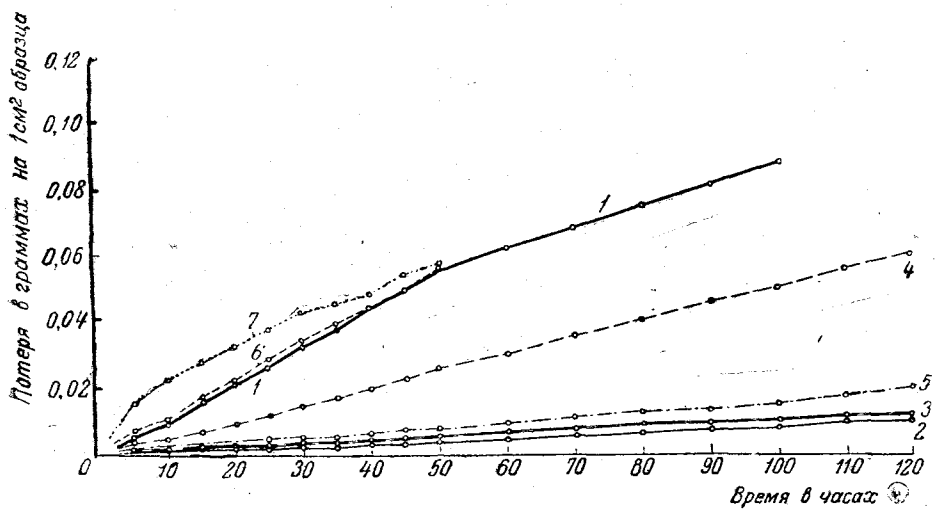


Рис. 10. Химстойкость каменного литья и свинца в 3 N H_3PO_4 при кипячении.

8. Степень коррозии изделий каменного литья при действии кислот различной концентрации различна, так, например, изделия из онежского диабаза более устойчивы в концентрированной HCl и менее устойчивы в слабых растворах H_3PO_4. Однако из приведенных опытов видно, что в слабых растворах кислот изделия каменного литья корродируются интенсивнее.

9. Коррозия изделий во времени идет равномерно, в течение 5 суток не отмечено затухания степени коррозии. Однако этот вывод требует уточнения при более длительных испытаниях.

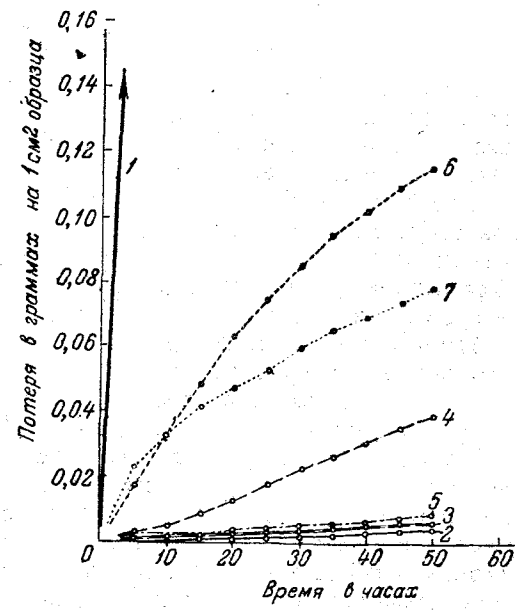


Рис. 11. Химстойкость каменного литья и свинца в 3 N H_2SO_4 + 3 N HNO_3 при кипячении.

В заключение необходимо заметить, что вышеприведенные выводы, характеризующие химическую стойкость изделий каменного литья, необходимо рассматривать только лишь в отношении исследованных структур, что, безусловно, предполагает необходимость дальнейшего исследования изделий, полученных из каждой отдельно взятой шихты, но различных структур. Однако приведенные данные при учете того, что исследованию подвергнуты отливки наиболее характерных структур, получающихся в отливках каждой отдельно взятой шихты, позволяют автору сделать вывод, что изделия каменного литья из онежского диабаза, шихты диабаз + пикрит (1 : 3) и хвостов пудожских диабазов вполне могут быть применимы в промышленности как антикоррозионные изделия и могут быть в определенных условиях прекрасным заместителем такого дефицитного металла, как свинец.

Общие сведения о технологическом процессе производства химически стойких изделий из расплавов горных пород

Общая схема технологического процесса получения изделий путем литья из расплавов горных пород сводится к следующему:

Подготовка сырья

↓

Дробление (шихтовка)
Завалка в плавильную печь механическим или ручным способом

↓

Плавление, дегазификация, гомогенизация

↓

Разливка по формам

↓

Кристаллизация (непосредственно в формах или в специальных кристаллизационных печах)

↓

Термическая обработка изделий в термических печах (в формах или освобожденных от форм)

↓

Браковка

↓

Механическая обработка абразивами

↓

Склад готовых изделий

Для полной характеристики необходимо привести схему изготовления земляных форм:

Подготовка формовочной земли (размол, смешивание)

↓

Формовка и изготовление шишек

↓

Сушка форм на воздухе или подогрев в специальных печах

↓

Заливка форм

Технологический процесс изготовления химически стойких изделий из расплавов горных пород, прежде всего, находится в прямой зависимости от химического состава применяющейся шихты или сырья. Производными химического состава являются — температура плавления, способность расплава самопроизвольно (в ванне печи) дегазифицироваться и образовывать вполне гомогенный расплав, жидкотекучесть при $t°$ выработки, скорость и способность кристаллизации. Одновременно с этим технологический процесс зависит и от характера изготовляющихся изделий (простая или сложная конфигурация изделий, габарит, монолитная или пустотелая и т. д.).

Таким образом, каждый новый (в химическом отношении) расплав и каждый новый вид и новое назначение изделий требуют своего технологического процесса, который не выходит за пределы общей схемы, но содержит такие технологические факторы, которые обусловливают доброкачественность изготовляемых изделий.

Технологический процесс производства футеровочных кислотоупорных плиток размерами $220 \times 110 \times 25$ *мм* из расплава онежского диабаза (принятый Московским камнелитейным заводом) определяется сравнительно невысокими кристаллизационными свойствами расплава этой шихты. Кратко он сводится к следующему: плавление диабаза производится в плавильной печи системы Мартен с некоторыми конструктивными особенностями (наличие завалочных полок) с беспрерывным сливом. Диабаз по мере расплавления на завалочных полках стекает в ванну. На последней имеется уклон в 7° в сторону летки. По сливному жолобу расплав поступает в копильник, из последнего производится непрерывная заливка форм.

Рабочая температура плавильной печи 1400—1450°, температура сливного жолоба 1350—1375°, температура копильника 1300—1325°, температура расплава, поступающего в форму, 1200—1250°. Печь обогревается жидким топливом посредством форсунок высокого давления.

Заливка производится в предварительно подогретые до температуры 650—700° земляные формы. После заливки изделие, не освобожденное от формы, поступает в кристаллизационную печь (карусель) с температурой первой секции 1020—1080° или в кристаллизационную камеру, являющуюся составной частью тоннельной печи, но имеющую начальную температуру 950—1000°.

В кристаллизационной карусельной печи отливка в течение 35—40 минут кристаллизуется в условиях медленно понижающейся температуры до 800°, затем изделие поступает в термическую (тоннельную) печь, где в течение 18—20 часов охлаждается по плавной температурной кривой. В результате такой термической обработки получаются изделия с полукристаллической структурой (см. рис. 1). Процент брака колеблется в пределах 15—30%; брак выражается: в наличии стекла на поверхности отливки (поверхность стекла), во включении стекла внутри отливки, в наличии в изделии горячих и холодных трещин, усадочных и газовых раковин, поверхностных трещин (посечка) и т. д.

Не вдаваясь в подробный критический анализ технологического процесса для установления его недостатков и положительных сторон, необходимо заметить, что дальнейшее усвоение технологического процесса должно пойти по линии:

1) упрощения его путем введения таких технологических элементов, которые бы значительно повышали кристаллизационную способность расплава;

2) разработки термического режима, создающего условия равномерной кристаллизации и снятия внутренних напряжений в температурном интервале их максимума;

3) разработки таких термических печей, конструкция которых давала бы возможность легко регулировать температуры всех зон печи.

Работы по получению фасонных химически стойких изделий автор проводил на опытной камнелитейной установке Ленинградского горного института. В качестве сырья применялась шихта онежского диабаза 75% и пикрита 25%, хвосты пудожских диабазов, лубнинский диабаз и волновахский базальт (см. химанализы на стр. 52 и 53).

Плавка всех шихт производилась в полупроизводственной печи системы Сименс-Мартен с емкостью ванны 600 *кг* рабочего расплава. Не имея возможности в настоящей работе подробно осветить технологический процесс получения изделий из каждой вышеприведенной шихты, привожу сводные таблицы, характеризующие процессы плавления, разливки по формам и термической обработки.

Необходимо заметить, что полное расплавление шихты при проводимых опытах находилось в зависимости от конструкции печи и может быть для хвостов пудожских диабазов и волновахских базальтов сокращено — для первых до 4 часов и для вторых до 6 часов. Плавление лубнинских диабазов в виду присутствия в них серы и других летучих компонентов происходит с выделением газов, что обусловливает необходимость тщательного перемешивания и более длительного провара.

Необходимо учесть, что температура струи при начале и окончании заливки изделия колеблется в пределах 50°, в таблице приводится начальная температура литья. Форма просушивается на воздухе в глубину слоя до 20—25 *мм* от поверхностей соприкосновения ее с расплавом. В целях быстрой просушки формы в опытах был применен портланд-цемент для подпудривания поверхностей соприкосновения формы с расплавом, что позволяло производить заливку в форму, приготовленную за два часа до литья. Показанное в таблице время выдержки в форме дается для трубы $d = 100$ *мм*, $D = 150$ *мм*, $l = 1250$ *мм* как наиболее новой в практике каменного литья и наиболее характерной отливки с точки зрения ее технологии. Однако необходимо указать, что время выдержки изделия в форме зависит от толщины стенок и габарита изделия. Тонкостенные отливки из шихты: диабаз + пикрит, хвосты пудожского диабаза и волновахский базальт, необходимо выдерживать в форме после заливки не более 2—3 минут.

Время освобождения отлитого изделия от формы и шишки зависит от конфигурации изделия.

Плавление шихты

№№ п/п	Шихта	Состояние шихты при завалке	Оптимальная температура плавильн. печи	Продолж. плавки в часах	Состояние расплава
1	Диабаз + пикрит (3 : 1)	Куски 100 × 100 × × 100 *мм*	1475—1500°	8—10	Расплав диференцирован по основности. Зеркало ванны жидко текуче, нижние слои вязкие. В целях гомогенизации расплав требует частого перемешивания
2	Хвосты пудожского диабаза	Порошкообразное, крупность зерна до 0,5 *мм*	1300—1350°	5—6	Расплав жидко текуч по всей глубине ванны. Зеркало ванны покрыто шлаковой корочкой
3	Лубнинские диабазы	Куски 100 × 100 × × 100 *мм*	1400—1450°	8—10	Расплав требует провара в течение 10 час. в целях дегазификации и частого промешивания. Жидко текуч по всей глубине ванны
4	Волновахский базальт	Куски 100 × 100 × × 100 *мм*	1400—1450°	8—10	Расплав требует провара в течение 4—6 час. в целях дегазификации. Жидко текуч по всей глубине ванны

Литье

№№ п/п	Состав расплава	Температура расплава при заливке форм	Состояние формы при литье	Время выдержки в форме в мин.	Время освобождения от формы
1	Диабаз + пикрит (3 : 1)	1300—1350°	Холодная с просушенными на воздухе поверхностями соприкосновения с расплавом	(Труба $d = 100$ *мм*, $D = 150$ *мм*, $l = 1250$ *мм*) 5—7	Выбивка шишки и расформовка 3 мин.
2	Хвосты пудожских диабазов	1250—1300°	То же	4—5	„
3	Лубнинский диабаз с подсадкой искусственных центров кристаллизации	1350—1375°	„	8—10	„
4	Волновахский базальт	1300—1350°	„	5—6	„

Термическая обработка в основном имеет цель снятия внутренних напряжений, возникающих в отливке вследствие:

1) объемных изменений при ее охлаждении с высоких температур до низких и

2) происходящих в процессе термической обработки, подчас даже незаметных под микроскопом, структурных изменений в строении отливки.

Наблюдения показали, что максимумы внутренних напряжений находятся в различных температурных интервалах для каждой отдельно взятой шихты и находятся в зависимости от технологических факторов, предшествующих терми-

ческой обработке изделия (температура струи при литье, вязкость расплава, теплопроводность, кристаллизационные свойства расплава и т. д.), а также и от конфигурации изделия. Поэтому точно ограничивать какие либо оптимальные критические температурные интервалы для всех видов изделий, тем более получаемых из различных шихт, автор без дополнительных исследований лишен возможности.

Термическая обработка

№№ п/п	Состав отливки	Температура изделия при посадке		Температура термической печи при посадке	Время выдержки в термической печи
		Наружных плоскостей	Внутренних плоскостей		
1	Диабаз + пикрит (3 : 1)	750°	800—850°	750°	При 750° = 90 мин. Медленный подъем температуры до 850° в течение 2 ч., при температуре 850° = 2 ч., *охлаждение вместе с печкой* в течение 16 ч.
2	Хвосты пудожского диабаза	650—700°	750—800°	675—700°	При 700° = 60 мин. Медленный подъем температуры до 800° в течение 2 ч., при 800° = 2 ч. Охлаждение вместе с печкой в течение 16 ч.
3	Лубнинский диабаз с искусственно введенными центрами кристаллизации	600—650°	700—750°	700°	При 700° = 90 мин. Медленный подъем температуры до 800—850° в течение 2 ч., 850° = 2 ч. Охлаждение вместе с печкой в течение 16 ч.
4	Волновахский базальт	750°	800—850°	750°	См. диабаз + пикрит

Однако на основании длительных наблюдений за поведением изделия с момента его заливки и до охлаждения можно наметить в общих чертах четыре основные критические температурные интервалы:

1. В температурном интервале окончания кристализации изделия, т. е. перехода изделия из вязкого состояния в твердое. Здесь могут происходить (вследствие неодновременного охлаждения изделия по всему объему) частичные разрывы, которые на практике называют посечками.

2. В температурном интервале перехода изделия от желтого до темнокрасного каления. Для различных изделий каменного литья (с точки зрения химического состава шихты) эти интервалы находятся в различных температурах. Для диабазовых и базальтовых изделий они находятся в пределах 650—700°.

3. В температурном интервале перехода изделия от темнокрасного каления в темное на грани, когда отливка становится по всему своему сечению темной, т. е. в пределах 400—525°, даже 550°.

4. Сохранившиеся внутренние напряжения иногда интенсивно проявляются в интервале температур 150—300°.

Проявление внутренних напряжений в различных критических температурных интервалах также различно как по действию, вызывающему те или иные формы брака (частичное или полное растрескивание), так и по интенсивности. В температурных зонах до темнокрасного каления при резком охлаждении в большинстве случаев изделие нацело растрескивается, тогда как в температурных зонах более холодного состояния отливки часты образования микротрещин, незаметных для невооруженного глаза.

В заключение необходимо заметить, что технология получения изделий из расплавов горных пород вследствие сложного химического состава шихт, являющегося побудителем возникновения очень сложных физико-химических явлений, требует длительного и всестороннего изучения. Поэтому настоящую работу автор рассматривает как первые шаги к выяснению влияния технологического процесса, а равно и происходящих физико-химических явлений в момент производства и эксплоатации изделия на их службу в эксплоатационных условиях.

Summary

Up to the present time the physical and chemical properties of cast-rock products as well as the technological process involved in their production has not been adequately discussed in literature.

In this paper — „Chemically Resistant Cast-Rock Products" — some wear-resisting features of molten rock are considered with regard to its chemical composition and mineralogical structure. As reagents the most common acids and alkali in various concentrations have been used. Some experimental data are given showing cast-rock as a material with wide industrial application, chemically resistant and as a good substitute for expensive non-ferrous metals and special corrosion-resisting alloys.

Finally, a brief scheme of the technological process is supplied, where the important factors of temperature and time conditioning during a complete production circuit are determined with a view to obtaining the best results in the making of cast-rock products.