Ep 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
Серия А № 71 1956

А. Г. КРУЗАМЯГИ
КАНД. ТЕХН. НАУК

О МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ И ОХЛАЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ

ENSV Teaduste Akadeemia
Keskraamatukogu

P. 26201

ЭСТОНСКОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИН 1956

Основным способом литья в настоящее время является литье в песчаные формы с песчаными стержнями, поэтому знание свойств формовочных и стержневых смесей в нагретом и охлажденном состоянии имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение в борьбе с внутренними напряжениями, трещинами и в повышении производительности труда при выбивке отливок и стержней.

До настоящего времени хорошо изучены факторы, влияющие на прочность стержневых и формовочных смесей во влажном и высушенном состоянии. Факторы, определяющие прочность смесей в нагретом и охлажденном состоянии, не только мало изучены, но не существует и стандартных методов испытания, поэтому результаты испытаний между собою несравнимы.

Данная работа ставит себе целью уточнить методику испытания смесей в нагретом и охлажденном состоянии.

Примечание. Работа выполнена под руководством проф. доктора техн. наук П. П. Берга.

ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ СОСТОЯНИИ

От прочности в нагретом состоянии зависит податливость формы и стержней, величина внутренних напряжений и образование горячих и холодных трещин. Для определения прочности стержневых смесей в нагретом состоянии в настоящее время применяются следующие методы испытания [1]:

а. образец диаметром в 30 мм, высотой в 50 мм нагревается в печи до разных температур и при этих температурах его нагружают до разрушения.

б. образец тех же размеров нагревается в печи при постоянной нагрузке на образец, при повышении температуры до разрушения образца.

в. образец поддерживается в печи при постоянной нагрузке и температуре и отмечается промежуток времени, в течение которого образец выдерживает данную нагрузку при данной температуре.

Эти методы не отвечают реальным условиям литья и неточность определения, согласно данным П. Берга, доходит до 15%, а во многих случаях увеличивается до 40% и более от средней величины.

Такая большая неточность в определении прочности в нагретом состоянии указывает на неразработанность методики испытания. Недостатком существующего метода являются:

а. способ нагрева,

б. способ приложения нагрузки,

в. отличие схем напряжений и деформаций при испытании от схем напряжений и деформаций при литье.

Способ нагрева. Способ нагрева образца при испытании должен по возможности приблизиться к процессу нагрева формы и стержня во время заливки. Нагрев формы и стержня во время заливки происхо-

дит в условиях термического удара и при недостатке кислорода.

Принимая пористость стержня равной 45%, что является, конечно, максимальной величиной пористости, при нормальных условиях на 1 дм³ стержня кислорода приходится

$$1{,}293 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}231 = 0{,}134 \text{ г.}$$

Это составляет на 1 кг стержневой смеси при нормальном уплотнении (1,5 г/см³) 0,09 г кислорода. При содержании в смеси 3% связующего на 30 г связующего приходится 0,09 г кислорода.

Реакции между кислородом и связующим в условиях литья, вероятно, происходят при температурах выше температуры сушки стержней, т. е. при температурах выше 220° С. Вследствие температурного расширения количество воздуха в порах стержня уменьшается и на 30 г связующего при 220° С приходится

$$\frac{0{,}09 \cdot 273}{493} = 0{,}05 \text{ г или } 0{,}0016 \text{ моля,}$$

а при 500° С — 0,034 г или 0,001 моля кислорода.

При молекулярном весе связующего 600—1500 (сланцевая окисленная смола, пеки и битумы) количество наличного кислорода составит на 1 моль смолы при 220° С от 0,03 до 0,08 моля кислорода, а при 500° С от 0,02 до 0,05 моля кислорода.

Для реакции всех молекул связующего с кислородом потребуется минимум 0,5 моля кислорода на 1 моль смолы и при этом происходит только частичное разложение связующего. Для полного сгорания связующего с образованием легко удаляемых продуктов кислорода требуется во много раз больше.

При элементарном составе связущего $C_{65}H_{94}O_2$ (молекулярный вес 806) кислорода требуется 31,5 моля

$$C_{65}H_{94}O_2 + \left(\frac{65}{2} - 1\right) O_2 = 65\,CO + 47\,H_2.$$

Для неполного сгорания 30 граммов связующего с молекулярным весом 800 требуется

$$\frac{31{,}5 \times 30}{800} = 1{,}18 \text{ моля кислорода.}$$

В порах стержня при 200° С содержится кислорода 0,0016 моля, которого хватит для реагирования с 0,13% связующего, а при 500° С — 0,001 моля, которого хватает для реагирования с 0,08% связующего.

Кислород содержится еще в гидратной и кристаллизационной воде глины. При содержании в стержневой смеси 3% каолинита ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) вводится в смесь 0,12 моля кислорода кристаллизационной воды, чего хватило бы для реагирования с 10-процентами связующего. Учитывая же, что выделение кристаллизационной воды происходит в интервале от 300° до 550° С, а реакция

$$2H_2O + 2C = 2H_2 + 2CO - 55680 \text{ кал.}$$

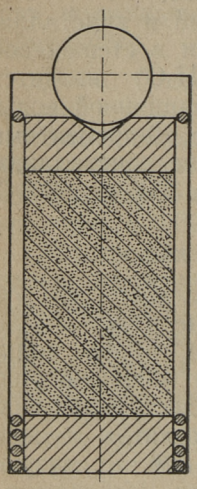
является эндотермической, можно предположить, что эта реакция при этих температурах места не имеет и кристаллизационная вода удалится в виде паров воды. А потому, повидимому, в условиях литья основную роль играет не окислительная, а термическая деструкция связующего. Влияние кислорода в условиях литья должно быть тем больше, чем больше молекулярный вес связующего, так как больше будет молярное соотношение кислорода к связующему.

В настоящее время, для нагрева образцов используют печи относительно большого объема, с зазорами и неплотностями, через которые засасывается воздух и облегчается доступ кислорода к образцу.

При этих условиях разложение связующего идет при достаточном притоке кислорода и, следовательно, происходит его выгорание. Для получения результатов, близких к условиям литья, необходимо нагрев образцов производить без доступа кислорода воздуха.

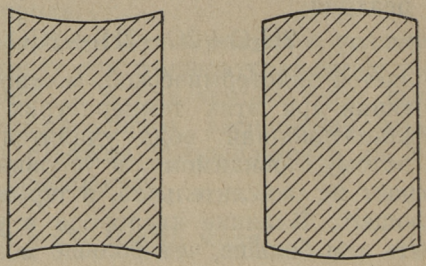
Применение печей со специальной защитной атмосферой для этой цели нецелесообразно, из-за их сложности и из-за возможности искажения результатов испытания. При существующих методах испытания, для этой цели лучше применить обвертывание образцов медной фольгой (фиг. 1). Медная фольга препятствует доступу кислорода атмосферы печи к образцу. Для лучшего уплотнения перед обвертыванием фольгой на нижнюю шайбу наматывают асбестовый шнур. Для предупреждения развертывания фольги и образования зазоров фольга обвязывается медной проволокой. Верхний зазор между шайбой и фольгой уплотняется накрыванием асбестового

кольца. Между фольгой и образцом с верхней шайбой остается зазор, который позволяет беспрепятственно производить испытания образцов в нагретом и охлажденном состоянии.



Фиг. 1.

Способ приложения нагрузки. Для получения правильных результатов, требуется равномерное распределение нагрузки по сечению образца. Это можно достигнуть при полном соприкосновении торцев



Фиг. 2.

образца с плоскостями подставки и сферической шайбой пресса. Но достигнуть этого очень сложно и практически невозможно, ввиду различной продолжительности пребывания отдельных слоев образца при температуре нагрева.

Процессы, происходящие в образце во время нагревания, зависят не только от температуры, но и от времени выдержки. Наружные слои образца подвергаются более продолжительное время воздействию высокой температуры, чем внутренние. Из-за этого в наружных слоях образца полнее происходят модификационные превращения, огневая усадка и разрушение связующего. Эти процессы связаны с изменением объема, что искажает торцовые поверхности образца и обуславливает неравномерное распределение нагрузки по сечению, так как торцы образца имеют вогнутую или выпуклую форму (фиг. 2).

Из-за двустороннего притока тепла кромки образца нагреваются быстрее и являются наиболее слабыми. При испытании кромки выкрашиваются, площадь соприкосновения уменьшается, удельное давление увеличивается и результаты испытания искажаются.

Для устранения этого к торцам образца следует приклеить металлические шайбы, толщиной в 5—10 мм, которые воспримут нагрузку и распределят ее равномерно по всему сечению образца. Это тем более важно, чем меньше прочность образца.

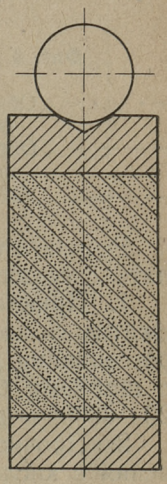
В качестве клея или замазки можно применить мелкий кварцевый песок, а лучше даже кварцевую муку со связующим, имеющим более высокую температуру разрушения, чем испытуемое связующее. В противном случае разрушение начнется сначала в слое замазки и результаты испытания исказятся. В качестве связующего для замазки лучше всего использовать жидкое стекло.

Торцы образца покрывают замазкой и притирают шайбы. Образец с шайбами сушат в течение 30—40 минут при температуре на 15—25° С ниже температуры сушки образца.

При применении сплошных шайб изменится направление газового потока. В условиях литья нагрев начинается с поверхности, и газы выходят через стержневые знаки (торцы). Газовый поток будет иметь направление, одинаковое с тепловым потоком или перпендикулярное тепловому потоку. При наличии сплошных шайб газовый поток в образце будет направлен навстречу тепловому потоку, т. е. газы из менее нагретых слоев пройдут через более нагретые слои. Такой поток газов охладит нагретые наружные слои и замедлит скорость нагрева образца. С другой стороны, в более нагретых слоях может произойти разложение газов с образованием коллоидального углерода, который увеличит прочность наружных слоев.

Вследствие этого образцы со сплошными шайбами могут иметь повышенную прочность. Для устранения этого следует применять шайбы с мелкими отверстиями, чтобы обеспечить нормальное направление газового потока.

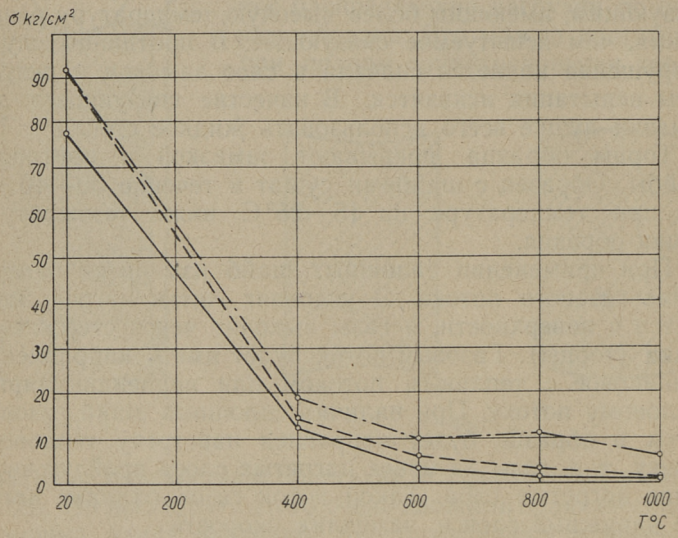
У верхней шайбы в центре необходимо сделать зенковку, куда при испытании вставляется стальной шарик. Давление пресса передается образцу через шарик и непараллельность между шайбами и наконечниками пресса не будет влиять на результаты испытания (фиг. 3).



Фиг. 3.

Результаты испытаний, проведенных по данной методике, приведены на фиг. 4, 5, 6. и в приложениях 1, 2, 3.

Условные обозначения на всех диаграммах те же, что на фиг. 4. (Испытывались смеси: песок К50/100, глина — 1%, вода — 2%, сульфитная барда — 3% и связующие (олифа натуральная, сланцевая формальдегидная смола, окисленная сланцевая смола) — 2%.)



Фиг. 4. Прочность образцов с натуральной олифой в нагретом состоянии.

— · — · — Образцы с приклеенными шайбами и обернутые фольгой.

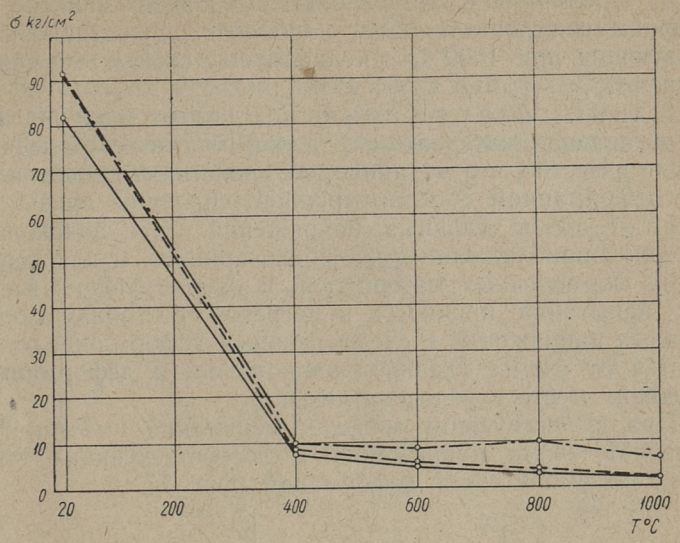
— — — — Образцы с приклеенными шайбами, не обернутые фольгой.

———— Образцы без шайб и не обернутые фольгой.

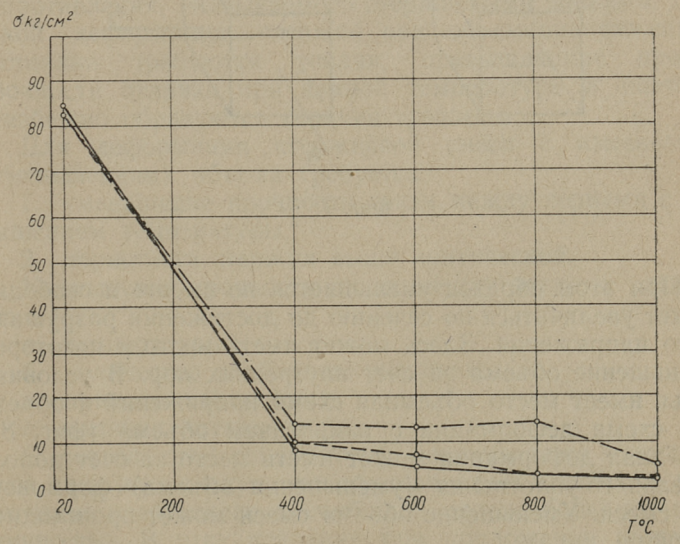
Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующие выводы:

1. Приклеивание шайб к образцам для испытания на сжатие в нагретом состоянии дает меньший размах рассеивания результатов испытания. Прочность образцов с шайбами больше прочности образцов без шайб на 20—60%, в зависимости от температуры испытания.

2. Прочность образцов, изолированных от соприкосновения с кислородом воздуха при 1000° С, от 2 до 3 раз больше прочности неизолированных образцов.



Фиг. 5. Прочность образцов со сланцевой формальдегидной смолой в нагретом состоянии.

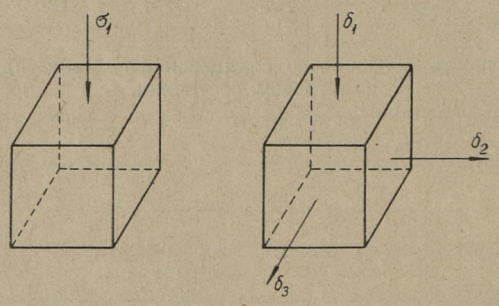


Фиг. 6. Прочность образцов с окисленной сланцевой смолой в нагретом состоянии.

3. Прочность изолированных образцов зависит от природы связующего. Для наиболее распространенных связующих при 1000° С прочность на сжатие не менее 5 кг/см².

Схемы напряжений и деформаций. Из сопротивления материалов и теории пластической деформации известно, что механические свойства и сопротивление деформациям квазиизотропной сплошной среды зависят от схемы главных напряжений. Это положение в первом приближении может быть принято и для испытания формовочных материалов. В существующих методах испытания прочности в нагретом состоянии схема главных напряжений и схема главных деформаций отличаются от схемы главных напряжений и деформаций, имеющих место в условиях литья.

При существующих методах испытания имеет место линейная схема напряжений и соответствующая этой схеме объемная схема деформаций (фиг. 7).



Фиг. 7.

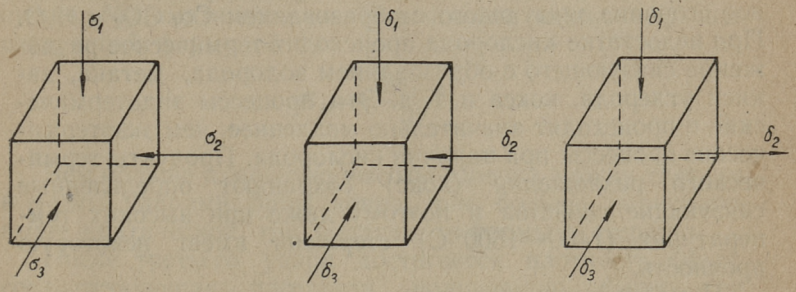
При этом образец уменьшается по высоте и свободно может увеличиться по сечению до достижения разрушающего напряжения. Здесь может иметь место и некоторое уменьшение объема за счет внутренних пор. В условиях литья имеет место объемная схема напряжений и объемная схема деформации с изменением объема (фиг. 8).

Такая деформация может иметь место за счет дополнительного уплотнения (уменьшения объема) формовочной смеси. Уменьшение объема смеси может происходить за счет:

а. уменьшения пористости,

б. уменьшения толщины пленки связующего материала или ее выдавливания из точек соприкосновения отдельных зерен в поры.

В условиях литья не имеет места или имеет подчиненное значение схема деформаций, где деформация идет без уменьшения объема и стержень выдавливается из полости отливки (фиг. 9).



Фиг. 8. Фиг. 9.

Такая деформация невозможна из-за трения между зернами, трения между зернами и стенками отливки и сопротивления, оказываемого стержневыми знаками. Для такой деформации стержня при объемнонапряженном состоянии требуются усилия, превышающие предел прочности отливки при данной температуре и поэтому неизбежно образуются горячие трещины.

Для деформации стержневой смеси с изменением (уменьшением) объема требуется:

1. уменьшение прочности связи между зернами с повышением температуры;
2. пористость стержня выше критической.

Уменьшение прочности связи между зернами зависит от:

а. температуры,
б. количества свободного кислорода,
в. природы связующего,
г. наличия катализаторов.

С повышением температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, что обуславливает некоторое размягчение связующего и сообщает пленке большую пластичность. В этих условиях при приложении нагрузки значительно меньшей, чем разрушающее усилие, воз-

можна пластическая деформация пленки и уменьшение объема за счет дополнительного уплотнения смеси. При этом сопротивление деформациям будет тем меньше, чем плавнее приложение нагрузки, а величина деформации тем больше, чем продолжительнее воздействие данной нагрузки. С дальнейшим повышением температуры начинается термическое разложение связующего. При наличии достаточного количества кислорода происходит полное сгорание связующего с образованием Co, CO_2 и H_2O. При недостатке кислорода происходит термическое разложение связующего с образованием водорода, метана, закиси углерода, кокса и т. д. Эти процессы эндотермические и происходят значительно медленнее, чем экзотермические процессы при наличии кислорода. Продукты термического разложения (кокс) сохраняют определенные связующие свойства и поэтому даже при высоких температурах (1400—1600° С) стержень имеет некоторую прочность.

Немаловажное значение имеет природа связущего. Высокомолекулярные вещества легче подвергаются термическому разложению, чем низкомолекулярные. Гели, содержащиеся после затвердевания еще в достаточном количестве дисперсионной среды, с повышением температуры должны размягчаться.

Большое влияние на скорость термического разложения имеют катализаторы и также, вероятно, то, что некоторые примеси формовочных глин и песков значительно ускоряют процессы разложения связующего.

Деформация с изменением объема имеет место, когда пористость смеси выше критической.

В грунтоведении критической пористостью называют пористость, при которой деформация сдвига не вызывает уменьшения объема.

Понятие критической пористости следует ввести и в учение о формовочных материалах. Пористость выше критической обеспечивает уменьшение объема в объемносжатой части стержня. Таким образом, пористость выше критической имеет такое же значение для получения податливых стержней, в борьбе с горячими трещинами в отливках, как и уменьшение связи между зернами. Введение в смесь опилок, торфа и т. д. увеличивает вышекритическую пористость.

Метод определения критической пористости, приня-

тый в грунтоведении, из-за сложности неприемлем в литейном производстве. В литейном производстве пористость выше критической можно определить косвенно уплотнением стандартного образца. Можно считать, что пористость выше критической — $\pi_{кр}$, пропорциональна уменьшению высоты, Δh_{3-n}, стандартного образца между третьим и n-ным ударом бабы копра и обратно пропорциональна уменьшению объема образца ΔV во время сушки. Математически, качественно это можно выразить следующей формулой:

$$\pi_{кр} = f\,\frac{\Delta h_{3-n}}{\Delta V}.$$

Чем больше изменение высоты образца между третьим и n-ным ударами бабы копра, тем больше пористость выше критической, тем податливее формы и стержни.

После третьего удара достигается плотность смеси, соответствующая плотности, получаемой обычно при формовке, n — число ударов копра, после которых высота образца практически остается постоянной.

Усадка смеси во время сушки уменьшает расстояние между зернами, уменьшает пористость выше критической и податливость формы и стержней.

Таким образом, изменение высоты стандартного образца между третьим и n-ным ударами копра, без учета объемной усадки во время сушки, дает только качественное представление о податливости смеси.

Пористость выше критической должна быть достаточной для:

а. уменьшения объема стержня, вызванного усадкой отливки во время остывания последней;

б. компенсации объемного расширения песка.

Ю. А. Нехендзи пишет [2] «Горячие трещины образуются под действием доперлитной усадки при таких высоких температурах, когда упругих деформаций металла практически не существует. Кроме того, горячие трещины могут образоваться в твердой части отливки в периоде ее затвердевания, когда существуют твердая и жидкая фаза... Поэтому критическим интервалом температур образования горячих трещин из-за торможения усадки в отливках из углеродистой стали следует считать приблизительно 1450—1250°... Все мероприятия по борьбе с горячими трещинами, сводящиеся к ликвидации боль-

шого сопротивления формы усадке, должны проводиться только в период остывания отливки в этом критическом интервале... Для примера можно указать, что отливки с толщиной стенки в 20 мм достигают критического интервала через 1 минуту, а с 30—40 мм — через 3—5 минут после заливки».

По данным Г. Холла [2] предел прочности малоуглеродистой стали (брусок Ø 25 мм) при разных температурах наружной корки составляет:

при	1342° С	— 0,3	кг/мм²
„	1336 „	— 0,5	„
„	1322 „	— 0,95	„
„	1306 „	— 1,05	„
„	1286 „	— 1,30	„
„	1254 „	— 1,65	„

Определяя температуру стержня после заливки по формулам, предложенным П. Бергом [3, 4], а максимальные удельные давления, испытываемые стержнем до образования горячих трещин, по формуле

$$p = \frac{2 \cdot 100 \cdot \sigma_t \cdot \delta}{D}$$

p — давление на стержень в кг/см²
δ — толщина стенки отливки в мм
σ_t — прочность материала при данной температуре кг/мм²
D — диаметр стержня в мм

и сгруппировав эти данные, получим таблицу 1.

Из таблицы 1 и фиг. 4, 5, 6 видно, что в верхнем критическом интервале образования горячих трещин (до температуры 1342°), прочность стержней с натуральной олифой, сланцевой формальдегидной и окисленной смолой даже при диаметре стержня в 200 мм в 2 раза превышает прочность втулки, что должно обусловливать появление горячих трещин. Во втулках Ø 300 и 500 мм горячие трещины должны образоваться и в нижнем критическом интервале, т. е. в интервале температур 1342—1230° С.

На фиг. 4, 5, 6 приведены прочности стержней, соответствующие линейной схеме напряжений. При объемной же схеме напряжений сопротивления деформациям значительно больше и прочность отливки в интервале обра-

Таблица 1

Температура стержней и максимальные удельные давления, испытываемые стержнями во время остывания отливки

Внутренний диаметр стальной втулки в см	Толщина втулки в см	Приведенная толщина в см	Удельное давление на стержень кг/см² при			Температура стержня на расстоянии x после заливки через секунды				
			1342° С	1322° С	1250° С	Расстояние x в см	60	120	180	250
100	2	1	1,2	3,8	6,6	0,5	558	852	991	1047
						1	139	298	397	483
						2	45	83	115	147
50	2	1	2,4	7,60	13,2	0,5	558	852	991	1049
						1	172	304	405	484
						2	47	87	121	153
30	2	1	4,0	13	22	0,5	571	869	1008	1078
						1	177	326	425	496
						2	50	91	126	156
20	2	1	6,0	19	33	0,5	583	886	1022	1094
						1	183	344	438	507
						2	54	96	131	158

При заливке формы малоуглеродистой сталью (С = 0,20%) с температурой 1570° наружная корка отливки достигает температуры: 1342° С через 110 сек.
1322° С „ 192 „
1250° С „ 256 „

зования горячих трещин недостаточна для деформации стержня. При этом следует учесть что за период остывания втулки в интервале образования горячих трещин нагревается незначительная толщина стержня, в нашем примере около 0,7 см, свыше 800° С и что при нагреве стержня происходит одновременно увеличение его объема.

Вышеизложенное заставляет предполагать, что податливость стержня в основном обусловлена упругими и пластическими деформациями при удельных давлениях на стержень значительно меньшими, чем прочность стержней при данной температуре, но не за счет разрушения связи между зернами. Уменьшение объема идет за счет уменьшения надкритической пористости. Отсюда следует, что существующие методы испытания прочности в нагретом состоянии не отвечают условиям литья. Метод, примененный в данной работе, более близок к условиям литья, так как исключает влияние избыточного кислорода. Недостатком примененного метода является отличие схем напряженного состояния и деформаций при испытании от схем напряженного состояния и деформаций при литье. Для получения еще более достоверных данных необходимо и совпадение схем напряженного состояния и деформаций.

Повидимому, для этих целей лучше всего подходит следующий метод: в гильзу из жароупорной стали (лучше специальный сплав с малым коэффициентом температурного расширения) Ø 50 мм заделывают нормальный высушенный образец для испытания прочности во влажном состоянии. Испытание производят при температурах 400—1200° С с интервалом в 200° С. При установке образца в печь пуансон Ø 10—20 мм оказывает на образец давление 0,3—0,5 кг/см², индикатор устанавливают на 0 и через каждую минуту записывают показания индикатора до достижения образцом испытуемой температуры. При достижении заданной температуры увеличивают постепенно нагрузку и записывают показания индикатора, соответствующие увеличению удельной нагрузки на 0,5—1 кг. Разность показаний первой и второй записи дает уплотнение образца за счет пористости выше критической. Данные, полученные при такой методике, характеризуют тепловое расширение и податливость смеси в условиях, близких к условиям литья.

ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ В ОХЛАЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ

Прочность смесей в охлажденном состоянии имеет решающее значение для организации выбивки стержней и отливок из формы. От прочности в охлажденном состоянии зависит способ механизации выбивных работ и условия труда на одном из самых тяжелых участков литейного цеха. Поэтому малая прочность в охлажденном состоянии имеет с технологической точки не меньшее значение, чем прочность во влажном состоянии. Если факторы, влияющие на прочность во влажном состоянии, достаточно изучены, то изучению факторов, влияющих на прочность в охлажденном состоянии, уделено очень мало внимания и даже из-за отсутствия стандартизированных методов испытания результаты испытания между собою несравнимы.

Методу испытания в охлажденном состоянии присущи те же недостатки, что и методу испытания в нагретом состоянии, и прочность образцов зависит от:

1) способа нагрева,

2) способа приложения нагрузки.

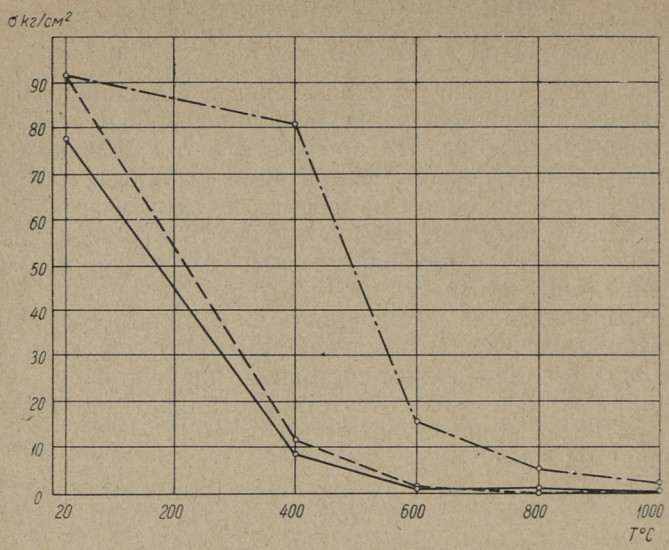
Влияние кислорода здесь еще больше, чем при испытании в нагретом состоянии, так как образцы охлаждаются на воздухе и поэтому изолирование образца от влияния кислорода здесь еще важнее. Неучет влияния кислорода ведет к ошибочным заключениям, что после нагрева образцы с органическими связующими добавками не имеют остаточной прочности [5]. Проведенные исследования показывают, что изолированные от влияния кислорода воздуха и нагретые до 1000° С образцы в охлажденном состоянии имеют прочность от 1,6 до 2,1 кг/см^2.

Результаты этих испытаний приведены на фиг. 10, 11, 12 и в приложениях 4, 5 и 6.

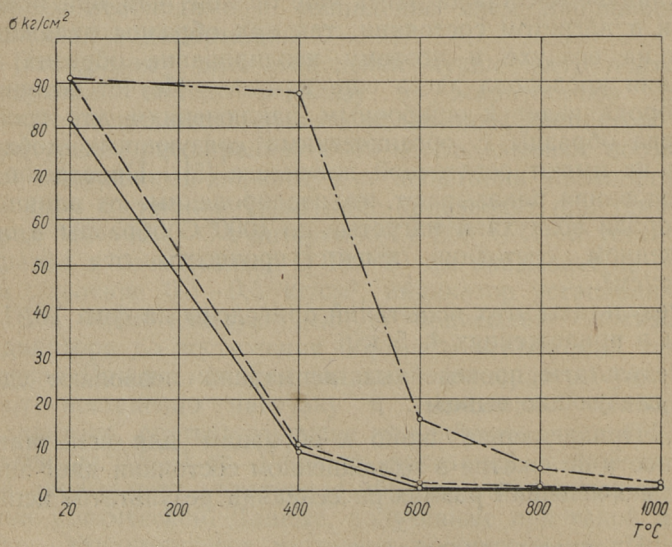
Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующие выводы:

1. Приклеивание шайб к образцам для испытания прочности на сжатие в охлажденном состоянии дает значительно меньший размах рассеивания результатов испытания.

2. Прочность охлажденных образцов после нагрева до 1000° и изолированных от влияния кислорода воз-



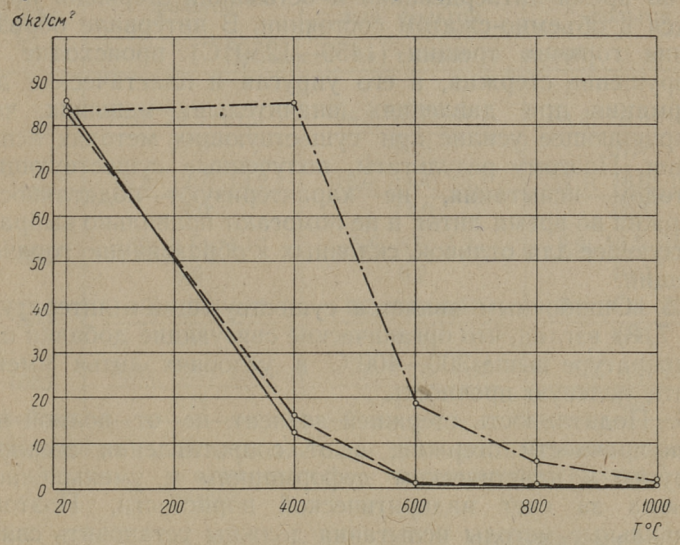
Фиг. 10. Прочность образцов с натуральной олифой в охлажденном состоянии.



Фиг. 11. Прочность образцов со сланцевой формальдегидной смолой в охлажденном состоянии.

духа в 14—30 раз больше прочности неизолированных образцов.

3. Прочность охлажденных образцов зависит от природы связующего и она меньше для высокомолекулярных связующих, чем для низкомолекулярных.



Фиг. 12. Прочность образцов с окисленной сланцевой смолой в охлажденном состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для прочности образцов из стержневых смесей при их испытании в нагретом и охлажденном состоянии существенное значение имеет баланс кислорода. Влияние кислорода на результаты испытания тем больше, чем выше температура испытания.

2. Нет прямой связи между прочностью в холодном и нагретом состояниях. Прочность в нагретом состоянии зависит от физико-химических свойств и количества связующего.

3. Существующие методы испытания в охлажденном и нагретом состоянии не обеспечивают равномерного распределения нагрузки по сечению образца и одинаковых условий нагрева (скорость обмена воздуха), отчего и получаются большие колебания показателя прочности.

4. Существующие методы испытания в нагретом состоянии сильно отличаются от условий работы стержня во время затвердевания и остывания отливки. Если при испытании имеет место линейное напряженное состояние, то во время затвердевания и остывания стержень находится в объемно-сжатом состоянии. В интервале образования горячих трещин (1450—1250° С) происходит не разрушение стержня, а его упругая и пластическая деформация при давлениях значительно меньших, чем разрушающее усилие при существующих методах испытания. Поэтому результаты, полученные существующим методом испытания, не характеризуют податливости стержня во время литья и не помогают правильно выбрать связующее для отливок, склонных к образованию горячих трещин.

5. Ошибочным является существующий в литературе (6, 7, 8) взгляд, что органические связующие добавки при температуре выше 300—400°С в условиях литья имеют почти нолевую прочность.

6. Податливость стержней зависит не от полной потери прочности стержня, а от сопротивления стержня упругим и пластическим деформациям с уменьшением объема за счет надкритической пористости. Поэтому правильные методы испытания должны установить связь между напряжением и деформацией образца в объемно-напряженном состоянии.

7. Ошибочным является существующий в литературе (5) взгляд, что образцы из смесей с органическими связующими добавками после нагрева и охлаждения не имеют остаточной прочности.

Приложение 1

Прочность образцов с натуральной олифой в нагретом состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	72,0; 79,5; 81,3 / 77,6	94,3; 89,6; 91,7 / 91,9	94,3; 89,6; 91,7 / 91,9
400	10,2; 12,7; 13,2 / 12,0	12,6; 14,4; 15,1 / 14,0	17,1; 18,6; 19,2 / 18,3
600	2,89; 3,46; 4,17 / 3,5	5,6; 5,9; 7,2 / 6,2	8,9; 10,3; 10,8 / 10,0
800	1,49; 1,53; 1,87 / 1,63	2,7; 3,5; 3,97 / 3,39	9,1; 11,8; 12,1 / 11,0
1000	0,86; 1,27; 1,31 / 1,14	1,68; 1,76; 1,83 / 1,76	5,2; 6,1; 6,8 / 6,03

Примечание. В числителе даны прочности отдельных образцов, а в знаменателе — среднее арифметическое 3-х образцов.

Приложение 2

Прочность образцов со сланцевой формальдегидной смолой в нагретом состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	73,0; 82,3; 92,1 / 82,5	91,2; 88,3; 94,8 / 91,4	91,2; 88,3; 94,8 / 91,4
400	6,8; 7,1; 10,3 / 8,1	8,4; 8,7; 9,8 / 9,0	8,9; 9,0; 10,7 / 9,5
600	3,7; 4,9; 6,4 / 5,0	4,8; 5,2; 7,4 / 5,8	8,1; 8,7; 9,3 / 8,7
800	2,6; 3,4; 3,7 / 3,2	3,2; 4,1; 4,8 / 4,03	9,5; 9,7; 11,4 / 10,2
1000	1,4; 1,85; 1,97 / 1,74	1,6; 1,83; 2,14 / 1,86	5,3; 6,9; 7,4 / 6,53

Приложение 3

Прочность образцов с окисленной сланцевой смолой в нагретом состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	78,5; 86,9; 88,7 / 84,7	92,3; 87,8; 84,1 / 88,0	92,3; 87,8; 84,1 / 88,0
400	8,0; 8,7; 9,3 / 8,7	8,7; 10,4; 10,7 / 9,9	13,6; 13,9; 14,2 / 13,9
600	3,4; 4,1; 6,5 / 4,7	6,7; 7,4; 7,8 / 7,3	11,9; 13,2; 14,7 / 13,3
800	2,3; 2,6; 4,2 / 3,03	2,5; 2,6; 3,4 / 2,83	12,4; 15,7; 15,9 / 14,7
1000	1,26; 1,74; 2,08 / 1,69	1,8; 2,3; 2,4 / 2,17	4,9; 5,3; 6,1 / 5,43

Приложение 4

Прочность образцов с натуральной олифой в охлажденном состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без приклеенных шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	72,0; 79,5; 81,3 / 77,6	94,3; 89,6; 91,7 / 91,9	94,3; 89,6; 91,7 / 6'16
400	9,2; 9,57; 9,7 / 9,49	11,8; 11,7; 12,1 / 11,8	85,0; 75,6; 84,3 / 81,6
600	0,86; 1,3; 1,0 / 1,05	1,86; 1,58; 1,72 / 1,72	16,0; 16,4; 15,7 / 16,0
800	0,67; 1,07; 1,3 / 0,92	0,4; 0,51; 0,46 / 0,46	5,0; 5,2; 6,2 / 5,45
1000	0,23; 0,11; 0,09 / 0,14	0,21; 0,17; 0,15 / 0,18	1,7; 2,0; 2,1 / 1,93

Приложение 5

Прочность образцов со сланцевой формальдегидной смолой в охлажденном состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без приклеенных шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	73,0; 82,3; 92,1 / 82,4	91,2; 88,3; 94,8 / 91,4	91,2; 88,3; 94,8 / 91,4
400	9,7; 8,6; 8,2 / 8,8	9,8; 10,2; 9,5 / 9,8	86,2; 90,6; 87,4 / 88,0
600	1,53; 0,96; 0,73 / 1,07	1,37; 1,61; 1,58 / 1,52	14,6; 15,3; 16,9 / 15,6
800	0,24; 0,32; 0,67 / 0,41	0,38; 0,35; 0,41 / 0,38	4,6; 5,1; 4,9 / 4,76
1000	0,13; 0,07; 0,06 / 0,09	0,12; 0,19; 0,10 / 0,14	1,4; 1,8; 1,72 / 1,64

Приложение 6

Прочность образцов с окисленной сланцевой смолой в охлажденном состоянии

Температура нагрева °С	Образцы без приклеенных шайб и не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами, не обвернутые фольгой	Образцы с приклеенными шайбами и обвернутые фольгой
	Прочность на сжатие в кг/см²		
20	78,5; 86,9; 88,7 / 84,7	79,2; 87,8; 84,1 / 83,7	79,2; 87,8; 84,1 / 83,7
400	14,2; 12,8; 11,4 / 12,8	16,3; 15,8; 15,1 / 15,7	86,2; 88,3; 80,8 / 85,1
600	0,52; 0,71; 0,64 / 0,62	0,78; 0,81; 0,88 / 0,82	19,6; 20,4; 15,6 / 18,5
800	0,108; 0,06; 0,28 / 0,13	0,18; 0,21; 0,27 / 0,22	6,5; 5,2; 5,1 / 5,6
1000	0,06; 0,04; 0 / 0,03	0,09; 0,05; 0,11 / 0,08	1,9; 2,36; 2,07 / 2,11

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг П. П. Основы учения о формовочных материалах. Машгиз, 1948.
2. Нехендзи Ю. А. Стальное литье. Металлургиздат, 1948.
3. Берг П. П. Оценка температуры нагревающейся литейной формы. Литейное производство № 12, 1952.
4. Берг П. П. Упрощенная методика технологических расчетов тепловых процессов литейного производства. Литейное производство № 8, 1951.
5. Виленская И. А. Свойства формовочных материалов при высоких температурах. Формовочные материалы, ВНИТОЛ, Машгиз, 1954.
6. Куманин И. Б., Лясс А. М. Связующие материалы для стержней. Оборонгиз, 1949.
7. Спасский А. Г. Основы литейного производства. 1950.
8. Справочник по стержневым связующим материалам в литейном производстве. Оборонгиз, 1950.

А. Г. Крузамяги

О МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ В НАГРЕТОМ И ОХЛАЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маантээ, 10.

*

Редактор П. Ю. Вольмер.
Технический редактор Л. Ууспылд.
Корректор Э. Фельдманн.

Сдано в набор 26 III 1956. Подписано к печати 22 VI 1956. Бумага 54 × 84 1/16. Печатных листов 1,75. По формату 60 × 92 печатных листов 1,43. Учетно-издательских листов 1,11. Тираж 800. МВ-05653

Заказ 1234.

Типография «Тарту Коммунист», Тарту, Юликооли, 17/19.

Цена 80 коп.

ENSV Teaduste Akadeemia
Keskraamatukogu