

УДК 629.331

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ НА СЦЕПЛЯЕМОСТЬ СИНТЕТИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СПЛАВА С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРОЙ

Игнатова А.М.

*ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: ignatovaanna2007@rambler.ru*

Повысить сцепляемость арматуры и синтетических минеральных сплавов возможно двумя способами – выбрать более близкий по тепловому расширению материал для армирования или скорректировать состав шихты для получения синтетического минерального сплава, ведь известно, что манипуляции с концентрацией оксидов в их составе могут обеспечить различные значения теплового расширения. Повлиять на тепловое расширение симинала возможно при корректировке его состава. Так, концентрация диоксида кремния SiO_2 – 25–45 %, масс. в составе симиналов снижает КТР, а минимальные значения КТР обеспечиваются при концентрации 35–42 %, масс.; концентрация оксида алюминия Al_2O_3 – 10–35 %, масс. снижает КТР симиналов, а выше данной концентрации способствует его повышению; концентрация оксида магния MgO – 15–25 %, масс. и оксида кальция CaO – 5–15 %, масс. способствуют снижению КТР симиналов.

Ключевые слова: синтетические минеральные сплавы, армирование, коэффициент термического расширения

INVESTIGATION OF FACTORS FOR THERMAL EXPANSION ADHESION SYNTHETIC MINERAL ALLOYS WITH THE METAL REINFORCEMENT

Ignatova A.M.

*FGBOU VPO «Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet»,
Perm, e-mail: ignatovaanna2007@rambler.ru*

Improve the adhesion reinforcement and synthetic mineral alloys of two ways – select a closer on the thermal expansion material for reinforcement or adjust the composition of the charge for synthetic mineral alloy, it is well known that the manipulation of the concentration of oxides in their composition may provide different values of thermal expansion. Influence the thermal expansion siminala possible to adjust its composition. Thus, the concentration of silicon dioxide SiO_2 – 25–45 %, wt. in the siminalov reduces CTE, and the minimum values of CTE are provided at a concentration of 35–42 % wt., the concentration of aluminum oxide Al_2O_3 – 10–35 %, wt. reduces CTE siminalov and above this concentration it promotes increase; concentration of magnesium oxide MgO – 15–25 %, wt. calcium oxide CaO and – 5–15 % wt. help reduce the CTE siminalov.

Keywords: synthetic mineral alloys, reinforcing thermal expansion coefficient

Изделия из синтетических минеральных сплавов (симиналов) обычно предназначены для работы в условиях статических нагрузок [1], однако часто при их эксплуатации могут возникать динамические или ударно-волновые воздействия [2], в результате которых в материале неизбежно будут образовываться трещины, что естественно приведет к невозможности их дальнейшей эксплуатации. В ряде случаев таких ситуаций можно избежать при условии армирования изделий, благодаря внутреннему каркасу, даже изделия с развитыми магистральными трещинами могут сохранять свою функциональность, пусть и непродолжительное время.

Возможность применения стальной арматуры при изготовлении изделий из симиналов требует предварительного изучения как влияния режимов производства армированных симиналов, так и влияния состав симиналов и арматуры на сцепляемость каркаса с материалом. Известно, что прочность сцепления симиналов и металла определяется преимущественно силами химического взаимодействия. Однако

механическое удерживание симинала на поверхности металла зависит в значительной степени от коэффициентов теплового расширения как металла, так и симинала, а также от температуры плавления и механической прочности симиналов.

Настоящая работа рассматривает влияние коэффициентов теплового расширения на сцепляемость симинала с поверхностью металлической арматуры без учета химического сцепления.

Объектом исследования являются симиналы, полученные на основе минерального сырья Пермского края (состав 2), Среднего Урала (состав 1) и металлические конструкционные материалы марок Ст. 3, Ст. 5, Св. 08 и 25, их составы указаны в табл. 1 и 2.

Коэффициент теплового расширения (КТР) соответствующих составов симиналов были установлены экспериментально при измерениях, выполненных на дифференциальном dilatометре марки NETZSCH DIL 402C [3]. Dilatometr состоит из цилиндра, сделанного из материала с известным КТР, который закреплен одним концом и помещен в нагреватель.

В конце цилиндра располагается образец. Напротив образца устанавливается стержень, сделанный из того же материала, что и цилиндр. Другой конец стержня соединяется с устройством, способным фиксировать даже очень малое изменение своего положения. Нагревание пространства вокруг образца вызывает его расширение,

а также расширение цилиндра. Если КТР образца отличается от КТР материала аппаратуры, то конец стержня сместится на расстояние, зависящее от длины образца и разницы КТР образца и материала аппаратуры. Для определения истинного КТР образца необходимо вводить коррекцию на расширение материала аппаратуры.

Таблица 1

Оксидный состав образцов симиналов

Материал (симинал)	Содержание компонентов, % масс.										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O + Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	CaF ₂	п.п.п.
Состав 1 на основе горнблендита	47,3	2,3	12,5	14,3	-	8,3	9,5	2,1	0,5	-	3,2
Состав 2 на основе габбро-диабазы	48,6	4,4	12,4	8,6	0,2	3,7	8,3	3,5	-	-	3,77
Состав 20	21,5	-	29,5	-	-	11,0	6,0	-	-	29,0	3,0
Состав 28	7,5	-	38,0	-	-	2,0	39,0	-	-	12,5	1,0
Состав 70	6,5	-	30,0	-	-	-	30,0	-	-	30,0	3,5%

Таблица 2

Химический состав конструкционных сталей

Марки стали	Содержание компонентов, % масс.										
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
Ст.3	0,14–0,22	0,15–0,3	0,4–0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	~97
Ст.5	0,28–0,37	0,05–0,15	0,5–0,8	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	~97
Св. 08	0,08	до 0,03	0,35–0,6	0,25	до 0,03	до 0,03	0,12	-	0,25	-	~98,5
25	0,22–0,3	0,17–0,37	0,5–0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	-	-	до 0,08	~97

Образец, который помещается против плоской стенки измерительной системы, при нагревании перемещается в горизонтальном направлении пружинным толкателем. Это

перемещение образца относительно либо цилиндра системы, либо второго стержня-толкателя измеряется с помощью LVDT (линейный датчик дифференциальной переменной).

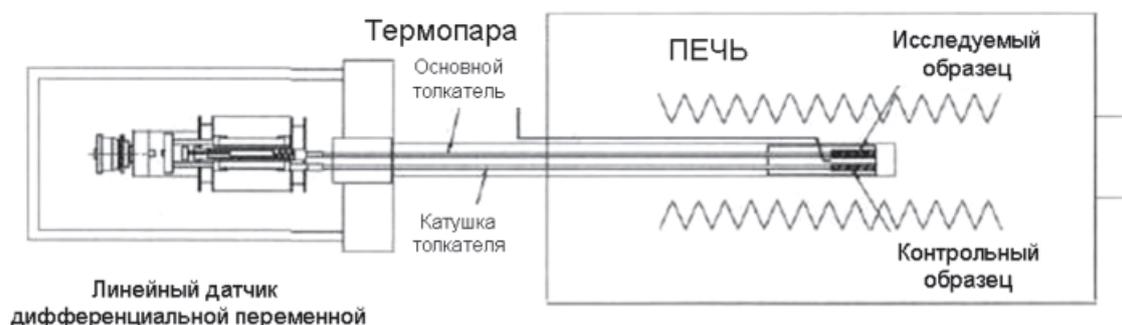


Схема двойного дифференциального dilatометра

Элементы системы измерения и тяги, как правило, сделаны из оксида алюминия или оксида кремния (кварца). Средний КТР кварца во всем изучаемом интервале температур составляет лишь $0,55 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, поэтому поправочный коэффициент, учитыва-

ющий расширение материала аппаратуры, достаточно мал.

В настоящей работе в качестве стандартного образца использован образец из платины определенной длины. Условием к получению хороших достоверных

результатов исследований является равномерность температуры по образцу и стандарту, оба из которых должны быть плоскими, с параллельными торцами. Дифференциальная точность улучшается, если неизвестный и стандартный образцы близки по характеристикам теплового расширения.

Исследования были проведены на образцах размером $4 \times 4 \times 20$ мм, диапазон нагрева $20-1000^\circ\text{C}$, скорость нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, скорость охлаждения $30^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Полученные результаты дилатометрии представлены в табл. 3. Известно [1], что наилучшая сцепляемость силикатного неметаллического материала и металлической поверхности обеспечивается при условии наименьшего КТР силикатного материала и его низкой температуры размягчения [4]. Так же известно, что наилучшая сцепляемость наблюдается у материалов, чьи значения КТР близки друг к другу. То есть чем меньше разница между КТР симинала (α) и армирующего материала ($\alpha_{\text{Ме}}$), тем лучше для сцепляемости [5].

Таблица 3

Коэффициент термического расширения для симиналов и конструкционных сталей

Материал	$\alpha, 10^6 \text{град.}^{-1}$, при температурном интервале									
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900	20–1000
Состав 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,9	2,0	2,8	2,8	–
Состав 2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	2,3	2,2	2,6	2,6	–
Состав 20	12,8	12,8	12,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,4	11,2	11,0
Состав 28	9,5	10,0	9,6	9,1	8,8	8,9	9,0	–	–	–
Состав 70	8,4	8,3	8,4	8,0	6,6	8,6	6,8	6,4	–	–
Ст. 3	11,9	11,9	12,6	12,9	13,6	13,6	14,6	13,8	12,4	–
Ст. 5	11,9	11,9	12,6	12,9	13,6	13,6	14,6	13,8	12,4	–
Св. 08	12,8	12,8	13,3	13,8	14,0	14,0	18,6	19,0	19,3	–
Сталь 25	12,2	13,0	13,7	14,4	14,7	15,0	15,2	12,7	12,4	13,4

В табл. 3 приведены результаты измерений коэффициентов термического расширения некоторых симиналов и конструкционных сталей. Наименьшим значением величины коэффициента теплового расширения обладают симиналы состава 1 и 2 ($\alpha_1 = 0,5-2,8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\alpha_2 = 1,3-2,6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$), более высокие значения α_i ($11,0-12,8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) соответствуют симиналу состава 20. В табл. 3 приводятся также результаты измерений коэффициентов α для соответствующих марок сталей. Значения величины коэффициентов α_i для сталей приблизительно одинаковы и колеблются в пределах от 11,9 до 19,3.

Из табл. 3 видно, что симинал на основе горнблендита (состав 1) имеет наибольшее отклонение α ($0,5-2,8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ в области температур $20-1000^\circ\text{C}$), от $\alpha_{\text{Ме}}$, для симинала на основе габбро-диабазы (состав 2) значения α ($1,3-2,6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ в области температур $20-1000^\circ\text{C}$) на всех интервалах температур также далеки от $\alpha_{\text{Ме}}$.

Среди рассмотренных материалов составы 20, 28 и 70 ($\alpha_{20} = 11,0-12,8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\alpha_{28} = 9,0-10,0 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\alpha_{70} = 6,4-8,6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) обладают термическим расширением, схожим с аналогичным свойством сталей Ст. 3, Ст. 5, СВ-08 и Сталь 25 ($\alpha_{\text{ст3}} = 14,6-11,9 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\alpha_{\text{св-08}} = 14,6-11,9 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; $\alpha_{\text{ст25}} = 12,2-15,2 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) в наибольшей степени.

Очевидно, что сцепляемость симинала с поверхностью армирующего каркаса из конструкционных сталей будет увеличиваться с уменьшением разности между коэффициентами термического расширения симинала и металла.

При более низком значении α симинала, чем α_i металла, симинал, охлаждаясь, сжимается медленнее, чем металл. При этом возникают напряжения сжатия, и симинал самопроизвольно отскакивает от поверхности арматурного каркаса, то есть сцепляемость уменьшается.

Если коэффициент теплового расширения симинала α больше, чем α_i металла, то симинал сжимается быстрее, чем металл, и вследствие этого возникают растягивающие усилия, что не способствует ухудшению сцепляемости (ситуация очень редкая).

Таким образом, можно заключить, что чем больше разность (абсолютная величина) между коэффициентами термического расширения симинала и металла, тем хуже сцепляемость симинала с поверхностью арматурного каркаса (при отсутствии учета химического сцепления).

Очевидно, что повысить сцепляемость арматуры и симинала возможно двумя

способами – выбрать более близкий по тепловому расширению материал для армирования или скорректировать состав симинала, ведь известно, что манипуляции с концентрацией оксидов в их составе могут обеспечить различные значения теплового расширения [2]. Повлиять на тепловое расширение симинала возможно при корректировке его состава. Так [3], концентрация SiO_2 – 25–45 %, масс. в составе симиналов снижает КТР, а минимальные значения КТР обеспечиваются при концентрации 35–42 %, масс.; концентрация Al_2O_3 – 10–35 %, масс. снижает КТР симиналов, а выше данной концентрации способствует его повышению; концентрации MgO – 15–25 %, масс. и CaO – 5–15 %, масс. способствуют снижению КТР симиналов.

Список литературы

1. Коэффициент термического расширения синтетических минеральных сплавов с фазовым разделением / М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, А.О. Артемов, А.Ю. Чумаченко, Л.И. Шевцова // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2013. № 2. – С. 49–53.
2. Изучение влияния оксидного состава и температуры на коэффициент термического расширения синтетических минеральных сплавов / М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, А.О. Артемов, Л.И. Шевцова, А.Ю. Чумаченко // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2013. № 1. – С. 86–89.
3. Исследование зависимости коэффициентов термического расширения металла шва и сварочных шлаков от температуры в диапазоне 100–1000 °С / М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, С.В. Наумов, Е.Е. Корниенко, А.Ю. Чумаченко // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2012. № 3. – С. 116–119.
4. Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Наумов С.В. Применение дифференциальной сканирующей калориметрии для оценки минерального сырья Пермского Края в производстве сварочных материалов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение.* – 2011. – Т. 13. – № 4. – С. 107–116.
5. Наумов С.В., Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Опыт использования минерального сырья Пермского края в про-

изводстве сварочных материалов // *Современные проблемы машиностроения: сб. трудов МНТК.* – Томск: НИ ТПУ. – 2010. – С. 372–377.

6. Наумов С.В., Игнатова А.М. Исследование физико-химических процессов, протекающих при сварке в сварочных материалах на основе техногенных образований // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2012. – № 4. – С. 150–153.

References

1. Ignatov M.N., Ignatova A.M., Artemov A.O., Chumachenko A.Ju., Shevcova L.I. Koeficient termicheskogo rasshirenija sinteticheskikh mineral'nyh splavov s fazovym razdeleniem // *Obrabotka metallov: tehnologija, oborudovanie, instrumenty.* 2013. no. 2. pp. 49–53.
2. Ignatov M.N., Ignatova A.M., Artemov A.O., Shevcova L.I., Chumachenko A.Ju. Izuchenie vlijanija oksidnogo sostava i temperatury na koeficient termicheskogo rasshirenija sinteticheskikh mineral'nyh splavov // *Obrabotka metallov: tehnologija, oborudovanie, instrumenty.* 2013. no. 1. pp. 86–89.
3. Ignatov M.N., Ignatova A.M., Naumov S.V., Kornienko E.E., Chumachenko A.Ju. Issledovanie zavisimosti koeficientov termicheskogo rasshirenija metalla shva i svarochnyh shlakov ot temperatury v diapazone 100–1000 °С // *Obrabotka metallov: tehnologija, oborudovanie, instrumenty.* 2012. no. 3. pp. 116–119.
4. Ignatova A.M., Ignatov M.N., Naumov S.V. Primenenie differencial'noj skanirujushhej kalorimetrii dlja ocenki mineral'nogo syr'ja Permskogo Kraja v proizvodstve svarochnyh materialov // *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie.* 2011. T. 13. no. 4. pp. 107–116.
5. Naumov S.V., Ignatova A.M., Ignatov M.N. Opyt ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ja Permskogo kraja v proizvodstve svarochnyh materialov. Sb. trudov MNTK «Sovremennye problemy mashinostroenija». Tomsk: NI TPU. 2010. pp. 372–377.
6. Naumov S.V., Ignatova A.M. Issledovanie fiziko-himicheskikh processov, protekajushhij pri svarke v svarochnyh materialah na osnove tehnogennyh obrazovanij // *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja.* 2012. no. 4. pp. 150–153.

Рецензенты:

Игнатов М.Н., д.т.н., профессор, ведущий специалист НПО «Гелий», г. Пермь;
 Файнбург Г.З., д.т.н., профессор, консультант НПО «Гелий», г. Пермь.
 Работа поступила в редакцию 20.09.2013.