

УДК 699. 812

Н.А. ИЛЬИН

кандидат технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды, заместитель директора по науке научно-технического центра «Пожарная безопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

В.В. ФРЫГИН

начальник «Испытательной пожарной лаборатории» по Самарской области инженер, полковник внутренней службы

А.Ю. АКУЛОВ

старший преподаватель Уральский институт государственной пожарной службы

А.П. ШЕПЕЛЕВ

ведущий инженер экспертной организации «Промбезопасность» Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПО МЕТАЛЛУ

SAMPLES FOR TESTING FIRE PROTECTIVE COATINGS ON METAL

Разработано ресурсоэнергосберегающее техническое решение для испытания огнезащитных покрытий по металлу, которое относится к технике огнезащитных материалов и конструкций и предназначено для оценки действенности (эффективности) огнезащиты стальных строительных конструкций.

Ключевые слова: огнезащита конструкций, стальные образцы, огневые испытания; ресурсосбережение.

Известны лабораторные образцы установки для определения эффективности огнезащиты по металлу [1]. Установка ЦНИИСК представляет собой малую огневую камеру, в верхней части которой установлен обогреваемый стальной сердечник-образец-пластина. Испытуемый образец размером 200x200 мм в плане изготовлен в виде образца-пластины с нанесенным с одной стороны огнезащитным материалом. На другую сторону образца-пластины уложен теплозащитный экран. Температурный режим в нагревательной камере создают системой стержневых электрических нагревателей. Термопары, измеряющие температуру, устанавливаются на обогреваемой и необогреваемой поверхности образца пластины. Однако при нагреве испытательного образца-пластины только с одной стороны происходит расхождение с результатами испытаний элементов стальных конструкций, обогрев сечения которых, как правило, двухсторонний; выполнение произвольного теплозащитного экрана

The technical solution for testing fire protective coatings for metal, which refers to the technique of flame retardant materials and structures, designed to assess the effectiveness of fire protection of steel constructions.

Keywords: fireproof construction, steel specimens, firing test, resource-saving.

необогреваемой поверхности образца-пластины нарушает баланс образца при его нагреве; погрешность измерения температуры на поверхности образца-пластины высока (до 60 °С) вследствие выполнения незащищенных электродов термопары перпендикулярно ее поверхности.

Известен лабораторный образец для оценки действенности огнезащитных покрытий по металлу [2]. В установке ВНИИПО использован принцип разъемности огневой камеры с удалением образца от источника теплового излучения. Поведение огнезащитных составов и материалов оценивают в вертикальном положении образца-пластины. Размер стального образца-пластины 140x88x1 мм. На одной стороне образца-пластины нанесена огнезащитная краска. Неокрашенной стороной образец-пластина закреплена на держателе с подогревающим устройством. Источник излучения – муфельная печь, нагретая до 950 °С. К ней придвигают испытательную ка-

меру с перемещающимся держателем на винтовом стержне. Однако односторонний нагрев образца-пластины приводит к расхождениям с результатами огневых испытаний стальных конструкций, имеющих двухсторонний обогрев поперечного сечения. При имитации двухстороннего нагрева требуется дополнительное нагревающее устройство; электроды термопары, прикрепленной к пластине, в огневой камере открыты и требуется дополнительная изоляция от их перегорания; изготавливаемая лабораторная установка с образцом-пластиной в целом громоздка, сложна в использовании и имеет большие погрешности в измерении температуры.

Известен лабораторный образец для испытания огнезащитных покрытий по металлу, включающий испытуемый стальной сердечник, выполненный сборным из двух стальных пластин, и датчики температуры, рабочие спаи контрольных термопар которых расположены внутри составного образца-пластины [3]. Однако следует отметить некоторые недостатки: испытание образца-пластины возможно только при расположении стального сердечника в горизонтальном положении; размеры образца-пластины малы по величине и не соответствуют размерам обогреваемых стальных конструкций, например, колонн; усложнено определение степени нагрева обогреваемой поверхности образца-пластины; малое приближение испытаний образца-пластины к натурным стальным конструкциям; степень нагрева образца-пластины определяют в его центре, а не в контрольных (расчетных) точках поперечного сечения образца конструкции; конструкция известного устройства для испытаний огнезащитных покрытий сложна в изготовлении и малотехнологична; при проведении испытаний огнезащитных покрытий нужны определенные навыки для создания стандартного теплового режима в муфельной печи.

Наиболее близким техническим решением является образец-изделие для испытания огнезащитных покрытий строительных конструкций, включающий опытный образец, на который наносят огнезащитный состав в виде отрезка стальной колонны двутаврового профиля №20 по ГОСТ 8239 или №20 Б1 по ГОСТ 26202; длина образца $l=(1700\pm 10)$ мм [4].

Подготовка к проведению испытаний включает расстановку термопар на стальном опытном образце-изделии, размещение опытного образца-изделия (отрезка колонны) в печи; размеры печи $a \times b \times l=1500 \times 1500 \times 1700$ мм; объем печи $W=3,825$ м³.

Температуру образца-изделия измеряют с помощью термопар из провода диаметром $d_s \leq 0,75$ мм. Термопары на образце-изделии устанавливают в количестве 3 шт. методом зачеканивания: в среднем сечении образца-изделия на стенку двутавра и на внутреннюю поверхность полок двутавра.

Испытание проводят в печи на установке для испытания образцов стержневых конструкций без статической нагрузки при четырехстороннем тепловом воздействии до достижения критической (предельной) температуры стали, равной 500 °С (средняя по трем термопарам). Для проведения испытаний изготавливают два одинаковых образца-изделия $l=(1700\pm 10)$ мм каждый.

При производстве огнезащитных составов используют дополнительно *контрольный метод* испытания; в качестве стального сердечника используют образец-пластину 600x600x5 мм с нанесенным на нее огнезащитным составом; испытания проводят в печи установки для теплофизических исследований; внутренние размеры печи $a_1 \times b_1 \times l_1=1000 \times 1000 \times 850$ мм; объем печи $w=0,85$ м³ [4].

Однако для проведения испытаний требуется, как правило, два огневых устройства: *во-первых*, установка для испытаний образцов стержневых конструкций и, *во-вторых*, установка для теплофизических исследования – контрольный метод; использование двух огневых установок не экономично; электроды термопар, прикрепленные к стенке и полкам двутавра опытного образца стержневых конструкций, в огневой камере открыты и требуется дополнительная изоляция от перегорания и повреждения; погрешность измерения температуры на поверхностях стенки и полок двутаврового опытного образца высока (до 60 °С) вследствие установки незащищенных электродов термопар перпендикулярно поверхностям стенок и полок; значителен расход стали для изготовления двух опытных образцов длиной $l=1700$ мм каждый; использование открытых термопар в условиях огневых испытаний приводит к перегоранию электродов и механическим повреждениям, а следовательно, к частой их замене; установка на каждый образец не менее 3 шт. новых термопар повышает расходы на приобретение термопар и трудоемкость испытаний; степень нагрева опытного образца определяют в центре пластины, а не в контрольных (расчетных) точках поперечного сечения образца конструкции; при использовании известного образца-пластины для контрольного метода испытаний огнезащитных покрытий по металлу осуществляют односторонний

нагрев образца – пластины, который приводит к расхождению с результатами огневых испытаний стальных конструкций, имеющих двухсторонний обогрев его деталей (полок, стенки); выполнение произвольного теплозащитного экрана на необогреваемой поверхности стального сердечника нарушает баланс образца-пластины при его нагреве; погрешность измерения температуры на поверхности образца-пластины высока (до 60 °С) вследствие выполнения незащищенной термопары перпендикулярно его поверхности; установка для огневых испытаний образцов стержневых конструкций металлоемка, громоздка и сложна в ее использовании.

Задача, на решение которой направлено новое техническое решение, состоит в приближении огневых испытаний образца-изделия к натурным для строительных конструкций; в снижении погрешности измерения температуры в контрольных (расчетных) точках поперечного сечения стальных конструкций; в упрощении устройства опытного образца-изделия стальной конструкции и снижении металлоемкости; в повышении экономичности и технологичности его изготовления и испытания.

Технический результат – приближение испытания стального образца к натурным для строительных конструкций; упрощение изготовления опытного образца-изделия вследствие применения простых по форме сборных деталей (пластин и уголков); возможность многократного использования опытного образца-изделия для повторных огневых испытаний; снижение погрешности измерений предельной температуры в контрольных, направленно перемещенных расчетных точках образца-изделия; повышение воспроизводимости огневых испытаний; более точное определение контрольных, направленно перемещенных расчетных точек сечения опытного образца-изделия для измерения предельной температуры нагрева металла неравномерно прогреваемой стальной конструкции; исключение пережогов тонких электродов термопар вследствие их размещения внутри полок и ребра составного двутаврового сечения опытного образца-изделия; обеспечение защиты тонких электродов термопар от механических повреждений и обрывов; снижение металлоемкости опытного образца-изделия и затрат на проведение огневых испытаний; использование более простой огневой установки, например, установки для теплофизических испытаний; упрощение установления опытного образца-изделия в пространство нагревательной печи.

Указанный технический результат достигается тем, что в опытном образце для испытания огнезащитных перекрытий по металлу, включающем сердечник стальной двутавровой, огнезащитное покрытие и термоэлектрические преобразователи, - *особенностью* является то, что стальной сердечник выполнен малогабаритным в виде составных сочлененных деталей полок и ребра стального двутавра, оборудованного рукоятями для переноса; термоэлектрические преобразователи, выполненные в виде защищенных термопар многократного использования, установлены между сочленяющимися пластинами двутавра в контрольных, направленно перемещенных расчетных точках полок образца-изделия стальной стержневой конструкции. Длина опытного малогабаритного образца-изделия принята равной $l=850$ мм.

Сердечник образца выполнен в виде двутавра №20 $b \times h \times s = 105 \times 200 \times 10$ мм с составным ребром из двух сочленяющихся толстолистовых пластин $\delta = 4 \div 10$ мм и составными полками из двух накладных толстолистовых пластин $s = 4 \div 10$ мм, сопряженных с наружными поверхностями полок спаренных отрезков уголков размером $b \times h \times s = 50 \times 50 \times 5$ мм (исполнение 1); сердечник образца выполнен в виде двутавра с составным ребром из швеллера №20 размером $b \times h \times \delta = 76 \times 200 \times 5,2$ мм, примыкающих к нему двух уголков размером $b \times h \times s = 75 \times 50 \times 8$ мм и накладной толстолистовой пластины $\delta_1 = 4 \div 10$ мм, а составные полки двутавра выполнены из накладных толстолистовых пластин толщиной $s_1 = 4 \div 10$ мм каждая, сопряженных с полками швеллера и уголков, при этом ширина полки уголка принята равной ширине полки швеллера $b_1 = 76$ мм (исполнение 2); сердечник образца выполнен в виде составного двутавра с составными полками и ребром, которые включают два спаренных, соприкасающихся по стенкам, швеллера №20 размером $h \times b \times \delta \times s = 76 \times 200 \times 5,2 \times 9$ мм и две толстолистовые пластины толщиной $s_1 = 4 \div 10$ мм каждая, сопряженные с наружными сторонами полок швеллеров, при этом ширина каждой накладной пластины полки двутавра равна удвоенной ширине полки швеллера, т.е. $b = 2 \cdot 76 = 152$ мм (исполнение 3); сердечник образца выполнен в виде отрезка колонного двутавра №20 К1 размером $b \times h \times s = 200 \times 200 \times 6,5$ мм, оборудованного накладными толстолистовыми пластинами для обеих полок толщиной $s_1 = 4 \div 10$ мм каждая (исполнение 4).

Составные детали образца-изделия сопряжены между собой стяжными болтами или винтами диа-

метром резьбы $8 \div 10$ мм, длиной $14 \div 20$ мм, с уменьшенной потайной головкой. Образец оборудован рукоятями, в виде стальных фасонных ручек длиной $l=65 \div 95$ мм. Термопары многократного использования расположены внутри образца-изделия, между составными деталями полок и ребра двутавра.

Термопары расположены в контрольных точках $M(x,y)$ неравномерно прогретых полок двутавра с глубиной их заложения по оси ординат $y=s/5$; по оси абсцисс x , - начиная от конца полки двутавра, - вычисляют ее величину по уравнению

$$x=a=(\delta_{\text{озс}} \cdot b/2)^m, \quad (1)$$

где a – глубина заложения контрольной точки M по оси абсцисс, мм; $\delta_{\text{озс}}$ – толщина огнезащитного слоя, мм; b – ширина полки стального двутавра, мм; B – ширина полки двутавра с учетом огнезащитного слоя, мм; m – показатель степени, вычисляемый по формуле

$$m=0,5 \cdot (b/B)^{0,25}. \quad (2)$$

Термопары в полках образца-изделия расположены, занимая центральное положение, в прямоугольных горизонтальных пазах, вырезанных на поверхности толстолистовых накладных пластин, сопряженных со стальными уголками. Термопары в ребре образца-изделия расположены, занимая центральное положение, в прямоугольном вертикальном пазу, вырезанном на внутренней стороне толстолистовой накладной пластины ребра двутавра. Вертикальный паз для термопар, расположенных в полках, образован конструктивно в местах соединения уголков - деталей полок и пластины ребра составного двутавра.

Термопары установлены в количестве $(5 \div 6)$ шт.: $(1 \div 2)$ шт. в среднем сечении внутри на стенку составного двутавра и по 2 шт. в контрольных точках M на внутренней поверхности каждой полки двутавра по диагонали на расстоянии (200 ± 15) мм от центра пластины полки. Заделка рабочего спая термопары со стороны огневой печи произведена путем припайки рабочего спая термопары в конце паза $\varnothing 2 \div 5$ мм, глубиной $3 \div 9$ мм, который высверлен в толстолистовой пластине-накладке, $s=4 \div 10$ мм; заделка рабочего спая термопары со стороны огневой печи произведена путем припайки термопары заподлицо в высверленном насквозь отверстии $\varnothing 2 \div 5$ мм, в толстолистовой пластине-накладке; заделка рабочего спая термопары со стороны огневой печи произведена путем припайки к рабочему спаю наконечника-диска. Толщина тонкого диска из металла с высокой теплопроводностью принята не более $0,5 \cdot d_s$, сторона

квадратного сечения которого не менее $20 \cdot d_s$, где d_s – диаметр термоэлектрода.

На рис. 1 изображены разрез А-А (фиг. 1), разрез Б-Б (фиг.2) и план поперечного сечения В-В (фиг. 3) образца-изделия стержневой конструкции (исполнение 1): 1 – пластина толстолистовая полки двутавра; 2 – уголок равнополочный; 3 – пластина толстолистовая сердечника ребра двутавра; 4 – пластина-накладка ребра двутавра; 5 – стяжные болты пластин ребра, полки и уголков; 6 – рукояти; 7 – паз горизонтальный (прорезанный для электродов термопар на внутренней поверхности толстолистовых накладных пластин, сочлененных с уголками); 8 – термопары внутри полок двутавра; 9 – паз вертикальный (прорезанный для электродов термопар составной полки двутавра); 10 – термопара внутри ребра двутавра; 11 – паз вертикальный конструктивный (для электродов термопар на внутренней поверхности накладной пластины ребра двутавра); 12 – замазка для электродов термопар в пазах; 13 – огнезащитное покрытие по металлу; т. I; т. II; т. III; т. IV и т. V – номера термопар.

На рис. 2 изображены сердечник образца-изделия и схема расстановки термопар (фиг.4), а также виды заделки рабочих спаев термопар со стороны огневой печи: припайка рабочего спая термопары в конце паза $\varnothing 2 \div 5$ мм глубиной $3 \div 9$ мм, который высверливают в толстолистовой пластине-накладке $s=4 \div 10$ мм (фиг. 5); припайка термопары заподлицо в высверленном насквозь отверстии $\varnothing 2 \div 5$ мм в толстолистовой пластине-накладке; припой серебряный ПСр-45 (фиг.6); припайка к рабочему спаю термопары наконечника-диска (фиг. 7): 14 – припаянная термопара в пазу пластины; 15 – изолированные термоэлектроды; 16 – рабочий спай термопары; 17 – припой серебряный ПСр-45; 18 – керамическая соломка; 19 – наконечник-диск.

На рис. 3 изображены виды сердечников образца-изделия: сердечник образца-изделия в виде двутавра с составным ребром из швеллера №20, примыкающих к нему двух неравнополочных уголков 2 размером $75 \times 50 \times 8$ мм и накладной толстолистовой пластины $\delta_1=4 \div 10$ мм, а составные полки двутавра выполнены из накладных толстолистовых пластин толщиной $s_1=4 \div 10$ мм каждая, которые сопряжены с полками швеллера и уголков (исполнение 2) (фиг. 8): 20 – швеллер стальной №20; сердечник образца – изделия в виде составного двутавра с составными полками и ребром, которые включают два спаренных, соприкасающихся по стенкам, швеллера №20 и две

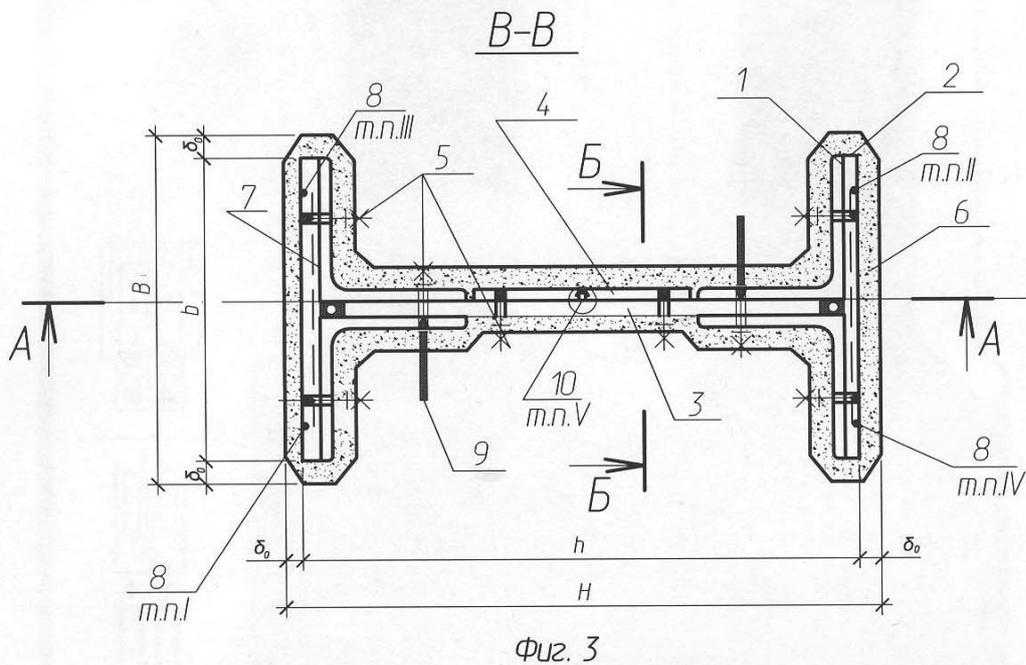
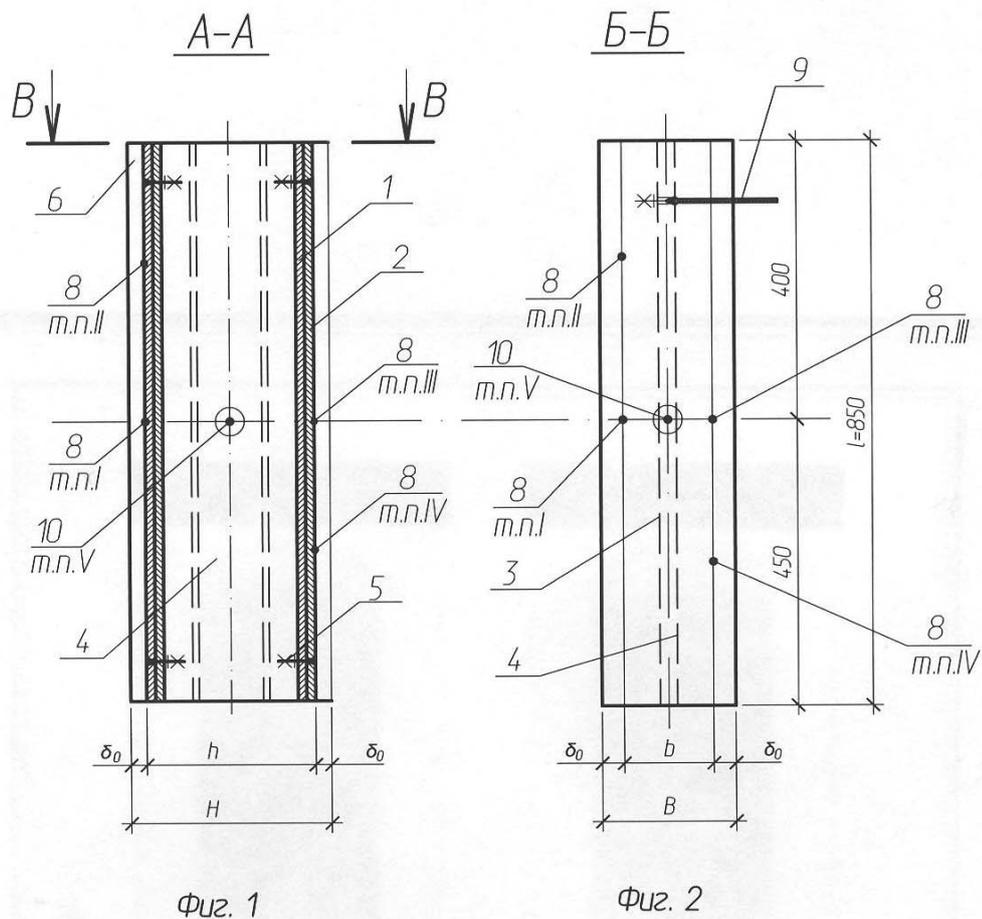
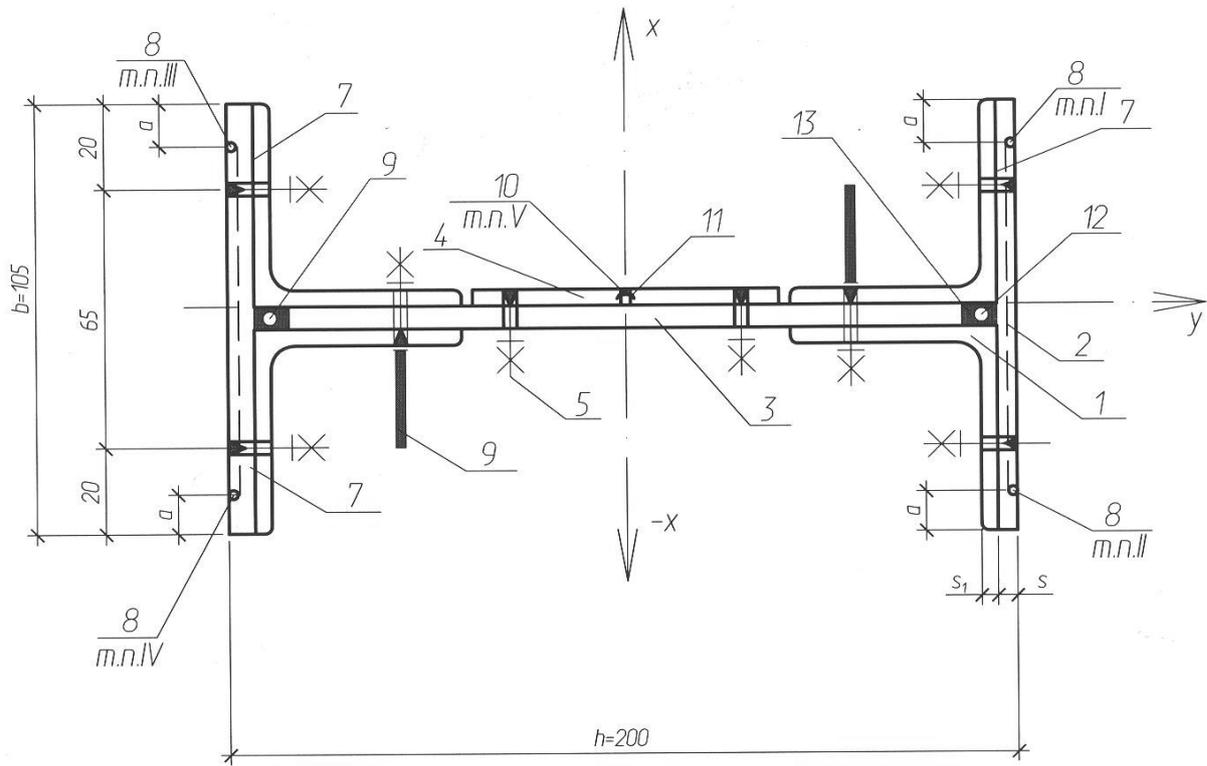
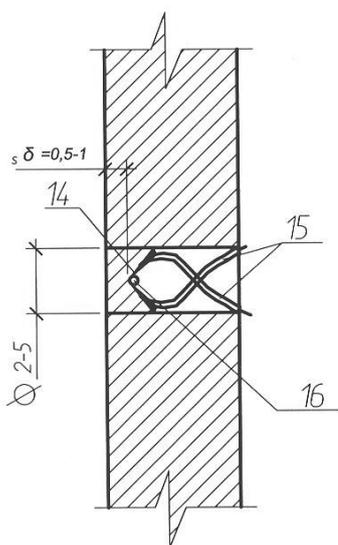


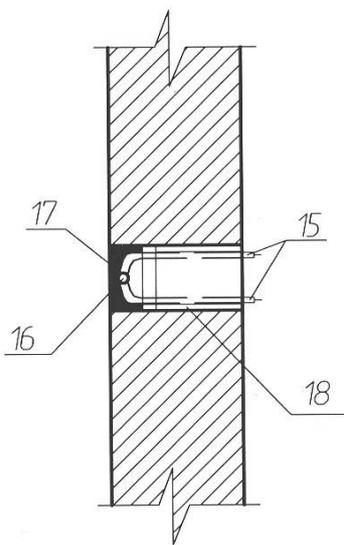
Рис. 1. Образец-изделие для испытания огнезащиты стальных конструкций (исполнение 1):
 фиг. 1 – сечение А-А; фиг. 2 – сечение Б-Б; фиг. 3 – сечение В-В (план поперечного сечения образца)



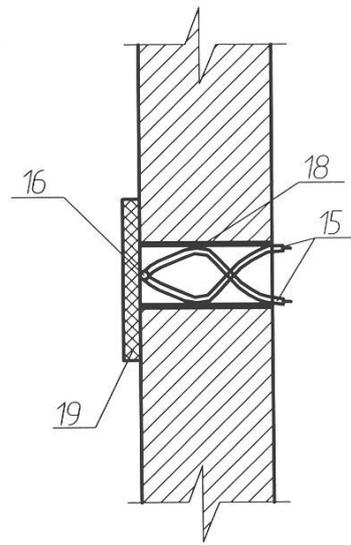
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

Рис. 2. Сердечник образца-изделия:

фиг. 4 – схема расстановки термопар; фиг. 5, 6, 7 – виды заделки рабочих спаев термопар со стороны огневой печи: в конце паза фиг. 5; в отверстии заподлицо фиг. 6; с наконечником-дискон фиг. 7

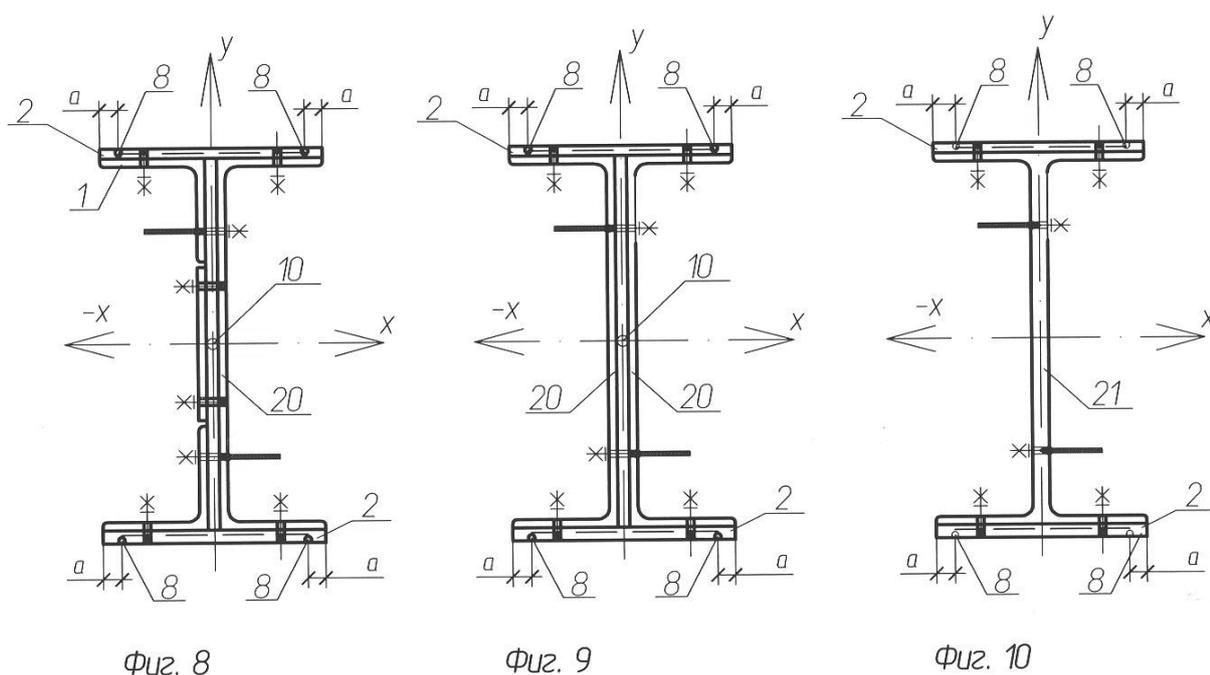


Рис. 3. Виды сердечников образца-изделия:
 фиг. 8 – двутавр с составным ребром из швеллера и двух уголков;
 фиг. 9 – двутавр с составным ребром из двух швеллеров;
 фиг. 10 – колонный двутавр с накладными пластинами для обеих полок

толстолистовые пластины толщиной $s_1=4+10$ мм каждая, сопряженные с наружными сторонами полок швеллеров – 2 (исполнение 3) (фиг. 9); сердечник образца – изделия в виде отрезка колонного двутавра №20 К1, оборудованного накладными толстолистовыми пластинами для обеих полок толщиной $s_1=4+10$ мм каждая (исполнение 4) (фиг. 10), 21– двутавр колонный №20К1 с параллельными гранями полок.

Сведения о возможности применения нового образца - изделия. Выполнен проект образца-изделия для испытания огнезащитных покрытий по металлу (СГАСУ, Самара, МЧС СЭУ ФПС ИПЛ С/о, 2009 г.). Высота укороченного стального образца-изделия принята $l=850$ мм.

Сердечник образца-изделия выполнен в виде двутавра №20. Размеры поперечного сечения $h \times b \times d \times s = 200 \times 105 \times 10 \times 10$ мм. Составное ребро 3 двутавра представлено в виде двух сочлененных пластин 3 и 4 толщиной $\delta_1=5$ мм каждая. Размеры пластины 3 сердечника, закрепленной в уголках 2 стального проката, составляют $l_1 \times b_1 \times s_1 = 850 \times 105 \times 5$ мм. Поперечное сечение равнополочного уголка 2 размером $h \times b \times d \times s = 50 \times 50 \times 5 \times 5$ мм составляет $A_{s,y}=4,8$ см). Площадь металла поперечного сечения образца-изделия $A_s=49,7$ см².

Приведенная толщина металла образца-изделия в условиях стандартного четырехстороннего огневого воздействия при периметре обогрева поперечного сечения

$$P_o = 2 \cdot (h + 2 \cdot b - s) = 2 \cdot (20 + 2 \cdot 10,5 - 1) = 80 \text{ см} \quad (3)$$

вычислена по формуле

$$T_{sr} = A/P_o = 49,7/80 = 0,62 \text{ см}. \quad (4)$$

Термопары расположены внутри сечения образца-изделия между сочлененными деталями полок и ребра составного двутавра.

При толщине огнезащитного слоя $\delta_{озс}=5$ мм, ширине полки двутавра $b=105$ мм получаем $V = b + 2 \cdot \delta_{озс} = 105 + 2 \cdot 5 = 115$ мм; показатель степени $m = 0,5 \cdot (b/V)^{0,25} = 0,5 \cdot (105/115)^{0,25} = 0,489$; абсцисса контрольной точки $M_{(x,y)}$ для установления рабочей точки термопары в полке двутавра вычислена по формуле (1): $x = a = (\delta_{озс} \cdot b/2)^m = (5 \cdot 105/2)^{0,489} = 15,2$ мм.

Рукоять 6 образца-изделия представлена в виде шпильки $\varnothing 12$ мм, длиной $l=60$ мм с нанесенной на одном конце шпильки резьбой $\varnothing 8$ мм и оборудованной низкими гайками и шайбами. Проведенные предварительные испытания показали надежность использования полезной модели для оценки действенности огнезащитного покрытия по металлу.

Выводы. Техническим результатом является:

1) приближение испытания стального образца к

натурным для строительных конструкций; 2) упрощение изготовления опытного образца-изделия вследствие применения простых по форме сборных деталей (пластин и уголков); 3) возможность многократного использования опытного образца-изделия для повторных огневых испытаний; 4) снижение погрешности измерений предельной температуры в контрольных, направленно перемещённых расчётных точках образца-изделия; 5) повышение воспроизводимости огневых испытаний; 6) более точное определение контрольных, направленно перемещённых расчётных точек сечения опытного образца-изделия для измерения предельной температуры нагрева металла неравномерно прогреваемой стальной конструкции; 7) исключение пережогов тонких электродов термопар вследствие их размещения внутри полки и ребра составного двутаврового сечения опытного образца-изделия; 8) обеспечение защиты тонких электродов термопар от механических повреждений и обрывов; 9) снижение металлоёмкости опытного образца-изделия и затрат на проведение огневых испытаний; 10) использование более простой огневой установки, например, установки для теплофизических испытаний; 11) упрощение установки опытного образца-изделия в пространство нагревательной печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романенков, И.Г. Огнезащита строительных конструкций [Текст] / И.Г. Романенков, Ф.А. Левитес. – М.: Стройиздат, 1991 (п.3.3.Методы испытаний огнезащитных материалов и конструкций, с.112-113).
2. А.с 332 356 SU, МПК G 01 N3/08. Установка для испытания огнестойких покрытий [Текст] / С.И. Таубкин, М.Н. Колганова, Г.Ф. Агеев и др., заявка от 19.03.1970; опубл. 14.03.1972; Бюл.№10.
3. Патент №2 092 821 RU, МПК-6 G 01 N 25/50 Устройство для испытаний огнезащитных покрытий [Текст] / Н.А. Ильин; заявка СГАСУ от 18.09.95; опубл.10.10.97; Бюл.№28.
4. ГОСТ Р 532 95-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Методы определения огнезащитной эффективности [Текст].- М., 2009.
5. Патент №2 434 227 RU, МПК G 01N25/50 (2006). Образец для испытания огнезащиты стальных конструкций [Текст] / Ильин Н.А., Фрыгин В.В., Акулов А.Ю., Шепелев А.П.; заявка СГАСУ от 30.06.2010; опубл. 20.11.2011; Бюл. № 32.

© Ильин Н.А., Фрыгин В.В., Акулов А.Ю.,
Шепелев А.П., 2013