

## КИНЕТИКА ОПАСНЫХ СОСТОЯНИЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Мойсейчик Е. А., Яковлев А. А.

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

### Введение

Значительная роль в определении поведения стали в конструкциях, выявлении опасных состояний и их изменении при увеличении нагрузки отводится пассивным методам неразрушающего контроля [1; 2]. В этой группе методов выделяется тепловой метод, основанный на регистрации и обработке параметров температурного поля поверхностей, возникающего в процессе деформирования исследуемых стальных изделий. Его использование позволяет получить объективную информацию о ходе процесса деформирования, выявлении опасных зон в изделии, зарождении и развитии разрушения и др. [2].

В настоящей статье исследуем кинетику деформирования отдельных стандартных сварных соединений стальной арматуры, используемых при производстве железобетонных конструкций [3]. Такие соединения в современной строительной практике распространены достаточно широко. Особенности технологии выполнения соединений являются: сравнительно высокие скорости нагрева и охлаждения; непродолжительное время пребывания металла шва в расплавленном состоянии; непрерывное перемещение фронта кристаллизации вслед за источником тепла; кристаллизация и набор прочности соединением при значительном градиенте температур; высокий нагрев отдельных объемов металла соединения [4 – 6]. Указанные особенности технологии изготовления соединений приводят к изменению первоначальных механических свойств арматуры, появлению значительных сварочных напряжений и деформаций в изделии [7]. Процесс разрушения такого сварного соединения можно рассматривать как многоступенчатый [8; 9]. Выделить отдельные этапы разрушения такого деформируемого тела можно по данным анализа термофильмов, в которых методом инфракрасной термографии фиксируются последовательные температурные поля исследуемой поверхности изделия.

### Основная часть

**1. Материал и методика исследования.** Сварные образцы были изготовлены в заводских условиях с использованием стержней диаметром 12 и 25 мм из арматурного проката Ат500С, изготовленного по ТУ РБ 04778771.001–97 на РУП БМЗ. Сварка выполнялась на постоянном токе обратной полярности в режиме:  $I_{св} = 200–220$  А,  $U_{д} = 25–27$  В,  $V_{св} = 12–14$  м/ч, примерный расход углекислого газа – 16 л/мин. Готовые

образцы испытывались на разрыв в соответствии с ГОСТ 1497–84 на универсальной испытательной машине Р-100. Процесс деформирования каждого из выбранных для испытания типов образцов фиксировался в видео- и термофильме. Температурные поля записывались посредством инфракрасного термографа ИРТИС-2000 и обрабатывались по стандартной программе. Тип принятых для эксперимента образцов определялся по данным испытаний на разрыв образцов типоразмеров 1–14 (таблица 1) при температуре 8,8–9 °С.

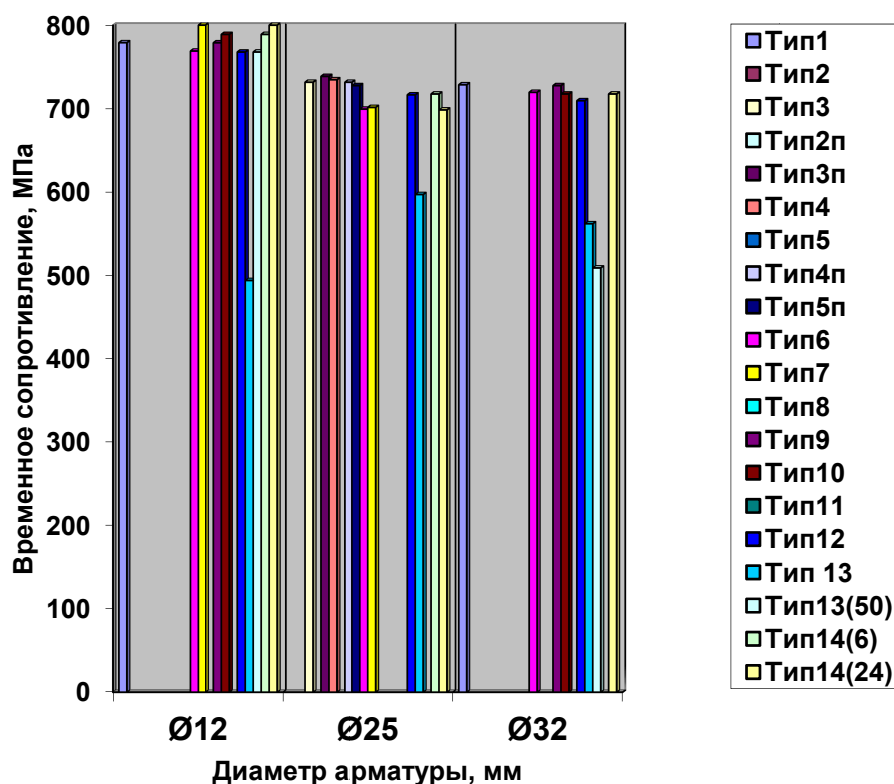


Рис. 1. Изменение разрушающих напряжений образцов типов 1–14

## 2. Данные эксперимента и его обсуждение

Характерные термограммы при деформировании материала стержня в различных стадиях приведены в таблице 1.

Из термограмм таблицы 1 следует, что опасные состояния соединения типа 12 возникали в месте приварки основного стержня к соединительному узлу с двусторонними стержневыми накладками (с зарождением и развитием разрушения в этой зоне).

Опасные состояния соединения типа 13 изменяются в зависимости от напряженно-деформированного состояния соединения. При упругой работе материала происходит небольшой нагрев деформируемого сварного шва на 2–3 °С. Переход к следующей стадии работы соединения характеризуется растяжением и изгибом арматурных стержней в зоне примыкания к сварному шву. Интенсивный нагрев металла происходит на концах сварного шва (на 5–6 °С). В третьей стадии нагрев локализуется в изогнуто-

растянутых зонах соединяемых стержней с повышением температуры деформируемого металла на 9–10 °С. Разрушение соединения развивается по сварному шву.

Таблица 1 – Схемы экспериментальных образцов типов 12–14 и характерные термограммы при различных стадиях работы материала

Тип	Схема экспериментального образца	Характерные термограммы при деформировании материала стержня в стадии		
		упругой	упруго-пластической	разрушения
	2	3	4	5
12				
13				
13 п				
14				

По подобному механизму происходит деформирование и нагрев образца 13п и изменение опасных его состояний при растяжении. Появление изгиба соединяемых стержней приводит к уменьшению разрушающих соединяющие напряжения. При этом существенную роль играет величина зазора между стыкуемыми стержнями в соединениях. Установлено, что с увеличением зазора между стыкуемыми стержнями в соединениях разрушающие напряжения снижаются. Этот фактор в большей мере про-

является на наступлении текучести материала образцов, их изломах и сужении в изломах.

При растяжении образца типа 14 массивная листовая вставка, к которой привариваются соединяемые стержни, при растяжении соединения не деформируется и ее температура практически не изменяется в процессе испытания. Опасной зоной, в которой локализуется нагрев металла на всех стадиях, является зона термического влияния сварочного шва. Нагрев металла на стадии развития разрушения достигает 21–22 °С.

#### **Выводы**

1. Опасные состояния сварных арматурных соединений при их растяжении существенно зависят от вида их деформаций. Появление изгиба накладок приводит к снижению разрушающих напряжений.

2. Инфракрасное термографирование исследуемых поверхностей позволяет выявлять кинетику деформирования и опасные состояния сварных соединений стальной арматуры.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Акустико-эмиссионный контроль железнодорожных конструкций / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, В. В. Ивлиев [и др.]. – Новосибирск : Наука. – 2011. – 272 с.

2. Мойсейчик, Е. А. Тепловой контроль материалов, стальных конструкций и машин / Е. А. Мойсейчик. – Минск : Ковчег, 2022. – 200 с.

3. ГОСТ 14098–2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. – М. : Стандартинформ. – 2015.

4. Мадатян, С. А. Арматура железобетонных конструкций / С. А. Мадатян. – М. : Воентехлит, 2000. – 256 с.

5. Василевич, Ю. В. Макроструктура арматурных стержней, упрочненных в потоке стана, и их сварных соединений / Ю. В. Василевич, Е. А. Мойсейчик, Е. К. Мойсейчик // Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Наука образованию, производству, экономике», Минск, 17–18 декабря 2008 г.; Белорусский национальный технический университет; редкол.: И. И. Леонович [и др.]. – Минск, 2008. – С. 326–332.

6. Особенности изменения свойств по сечению термически упрочненной арматуры после повторного нагрева / В. И. Большаков, А. О. Чайковская, В. А. Шеремет [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск. – 2004. – № 3. – С. 71–74.

7. Дегтярев, И. Я. Сварка при изготовлении и монтаже арматурных конструкций / И. Я. Дегтярев. – М.-Л. : Энергия, 1965. – 240 с.

8. Беликов, В. Т. Исследование режимов развития процесса разрушения на основе данных наблюдений акустической эмиссии / В. Т. Беликов, Д. Г. Рывкин // Физическая мезомеханика. – 2017. – Т. 20, № 4. – С. 77–84.

9. Панин В. Е. Структурные уровни деформации твердых тел / В. Е. Панин, В. А. Лихачев, Ю. В. Гриняев – Новосибирск : Наука, 1985. – 255 с.

*Поступила: 22.03.2024*