

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

УДК 669.14.018.298

**А.Н. Юрченко, М.Ю. Микрюков**

**A.N. Yurchenko, M.Yu. Mikryukov**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

### **МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ САДКИ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ 12Х2Г2МФС**

### **TECHNIQUE OF CONTROL OF TEMPERATURE CAGES DURING CARRYING OUT CONTINUOUS COOLING AND AUSTEMPERING ON THE EXAMPLE OF STEEL 12CR2MN2MOVSI**

Предлагается метод контроля температуры во время проведения двух видов термической обработки: термокинетической и изотермической. Исследована низкоуглеродистая сталь с содержанием кремния 1,15 %. Приводятся рекомендации для соблюдения основных параметров режима термической обработки на лабораторном печном оборудовании.

**Ключевые слова:** термопара, скорость охлаждения, непрерывное охлаждение, изотермическая закалка, бейнит.

A method of monitoring temperature is proposed during carry out two types of heat treatment: thermokinetic and isothermal treatments. This paper examines low-carbon steel with content silicon 1,15 %. Recommendations are given for compliance with the basic parameters of the mode of heat treatment on the laboratory furnace equipment.

**Keywords:** thermocouple, cooling rate, continuous cooling, austempering, bainite.

Одной из перспективных структурных составляющих в последние десятилетия является бейнит [1–3]. Для того чтобы получить бейнитную структуру, а в некоторых случаях нужна структура нижнего бескарбидного бейнита, необходимо соблюдать два основных условия, которые известны по литературным [3, 4] и опытным данным [5]. К ним относятся химический состав и правильное проведение термической обработки. В большинстве

случаев химический состав является новым, экспериментальным, и его обоснованность зависит от оборудования, на котором проводится обработка. Ссылаясь на экспериментальные методы обработки, можно выделить два вида термического оборудования: печи с окислительной атмосферой и соляные печи-ванны. С помощью таких печей осуществляют термокинетические и изотермические режимы термической обработки. В отечественной и зарубежной литературе приводятся режимы термической обработки, но практически ни в одном источнике не описано, как происходит проверка печи, какая садка и масса образцов помещаются в печь, каков объем печи, как контролируется температура образцов во время охлаждения до температуры изотермической выдержки, и другие особенности. Все эти факторы могут повлиять на технологический процесс проведения термической обработки. От правильности соблюдения всего термического маршрута зависит конечная структура садки в целом.

В данной статье предложен вариант проведения термической обработки с контролем температуры в процессе нагрева и охлаждения садки с определенным количеством готовых образцов из стали 12Х2Г2МФС.

Нами были исследованы образцы из экономнолегированной стали 12Х2Г2МФС со следующим весовым процентным содержанием (вес. %) основных химических элементов: 0,12 С; 2,43 Cr; 1,8 Mn; 0,12 V; 1,15 Si.

Заготовка – кованый высокоотпущенный ( $T = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 120 мин) пруток диаметром 23 мм.

Термическую обработку проводили в лабораторной печи «Накал» с объемом рабочей камеры 20 л на готовых образцах, подготовленных для испытаний на ударный изгиб и растяжение, по следующим режимам:

1) нагрев до  $T = 920\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 60 мин и последующее охлаждение с печью до комнатной температуры ( $T_{\text{комн}}$ );

2) нагрев до  $T = 920\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе до температуры изотермической выдержки  $T_{\text{изо}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выдержка 180 мин, охлаждение на воздухе ( $T_{\text{комн}}$ ).

Как известно, в процессе нагрева и охлаждения температура образца в печи ( $T_{\text{образца}}$ ) и температура печи ( $T_{\text{печи}}$ ) отличаются. Садка из определенного количества образцов всегда нагревается и охлаждается медленнее, что подтверждается графиками на рисунке, а, б. В лабораторную печь (рисунок, в) была помещена садка (рисунок, г) с готовыми образцами под механические испытания. Всего на поддоне было размещено 7 образцов (4 ударных образца, 2 образца на растяжение, 1 образец-свидетель). Образец-свидетель (рисунок, д) предназначен для контроля температуры в процессе нагрева и охлаждения опытных образцов. Для того чтобы контролировать температуру в центре опытных образцов, в образце-свидетеле было просверлено глухое отверстие, в которое помещали термопару (см. рисунок, г), один из концов

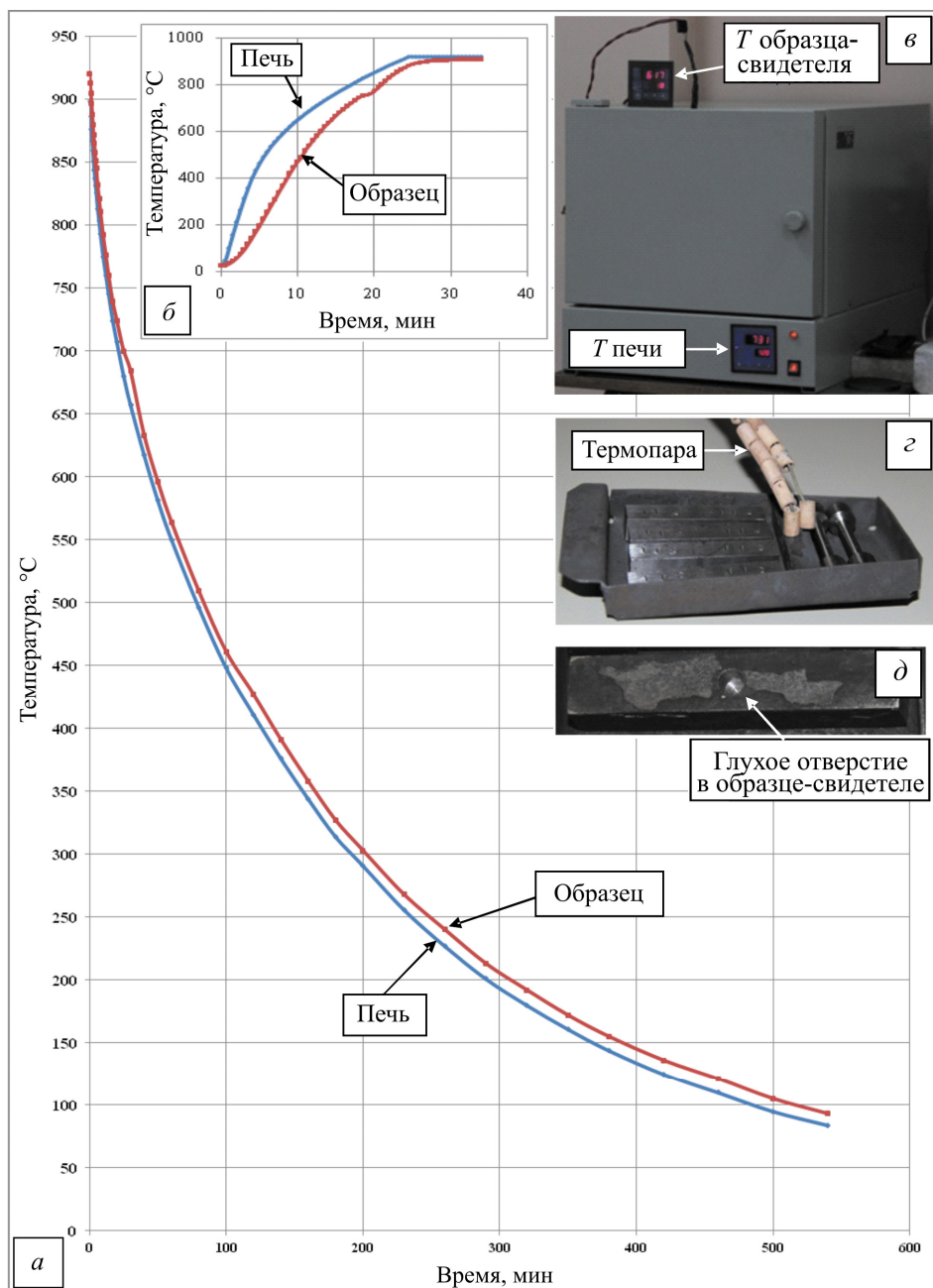


Рис. Экспериментальные данные, образцы и оборудование:  
*a* – охлаждение садки вместе с печью; *б* – нагрев садки вместе с печью;  
*в* – лабораторная печь; *з* – садка с термопарой; *д* – образец-свидетель

которой был выведен на прибор «Термодат-10Н1», показывающий численное значение температуры.

После подготовительных операций проводили экспериментальные режимы обработки. Сначала реализовали термокинетический метод обработки. Как видно из рисунка, *a*, *б*, скорости нагрева и охлаждения печи и образца отличаются. Дополнительная термопара в образце позволяет более точно определить скорость нагрева и охлаждения, которая соответствует 1,5 и 0,05 °С.

Еще одной особенностью является соблюдение точной процедуры охлаждения после нагрева в аустенитную область стали 12Х2Г2МФС до температуры изотермической выдержки. Процесс охлаждения образцов реализуется на воздухе и контролируется также с помощью образца-свидетеля и термопары, как показано на рисунке, *в–д*.

Садку с опытными образцами из стали 12Х2Г2МФС доставали из печи вместе с термопарой и держали на воздухе в течение 4 мин, наблюдая за изменением температуры на термодате. Известно, что на поверхности температура ниже, чем в сердцевине, поэтому такой способ отслеживания температуры с глухим отверстием более приближен к реальному контролю и выдает интегральное значение температуры по сечению образца.

В заключение хочется отметить, что для получения бейнитной структуры (или структуры бескарбидного бейнита) следует соблюдать точную процедуру термической обработки, а также проверять термическое оборудование, чтобы иметь достоверные результаты. Данная методика имеет преимущества по сравнению с расчетными методами, так как ее реализация происходит в реальном времени и на конкретном материале. Кроме того, предложенная методика позволяет получить информацию о текущем значении температуры образцов в нужный момент времени.

### Список литературы

1. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. – 2nd edition. – London: The Institute of Materials, 2001. – 460 p.
2. Caballero F.G., Bhadeshia H.K.D.H. Very strong bainite // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*: DK 8. – 2004. – P. 251–257.
3. Леонтьев П.А., Иванова А.С., Симонов Ю.Н. Исследование фазовых превращений и структуры кремнистых сталей с различным содержанием углерода при непрерывном охлаждении // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 33–39.
4. Калетин А.Ю., Калетина Ю.В. Эволюция структуры и свойств кремнистых сталей при фазовом переходе аустенит – бейнит // *Физика твердого тела*. – 2015. – Т. 57, вып. 1.

5. Калетин А.Ю., Калетина Ю.В. Повышение вязкости конструкционных сталей при образовании бескарбидного бейнита // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т. 16, № 4. – С. 22–30.

Получено 16.09.2016

**Юрченко Александр Николаевич** – аспирант кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [sanyaurchenko@gambler.ru](mailto:sanyaurchenko@gambler.ru).

**Микрюков Михаил Юрьевич** – студент кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [mihaail\\_mikrukov@yandex.ru](mailto:mihaail_mikrukov@yandex.ru).