

## РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

*Гордеева Э.С.*

*Севастопольский государственный университет, г.Севастополь*

**Ключевые слова:** термообработка, структура металла, скорость нагрева и охлаждения, температура нагрева, критические точки, фазовые превращения, химический состав стали.

**Аннотация.** Показаны основные процессы изменения структуры стали при термообработке, которые исследуются с использованием диаграммы изотермического распада аустенита и методом математического моделирования. Проведен анализ влияния легирующих элементов на положение критических точек, при которых происходят микроструктурные и фазовые превращения. Приведены математические формулы для расчета критических точек.

## CALCULATION OF CRITICAL POINTS FOR HEAT TREATMENT OF ALLOY STEELS

*Gordeeva E.S.*

*Sevastopol State University, Sevastopol*

**Keywords:** heat treatment, metal structure, heating and cooling rate, heating temperature, critical points, phase transformations, chemical composition of steel.

**Abstract.** Are shown the main processes of steel structure change during heat treatment, which are investigated using a diagram of isothermal decomposition of austenite and the method of mathematical modeling. An analysis is made of the influence of alloying elements on the position of critical points at which microstructural and phase transformations occur. Are given the mathematical formulas for calculating critical points.

Изменение строения металла, а, следовательно, и свойств является целью любого процесса термообработки и заключается в том, чтобы нагревом до определенной температуры и последующем охлаждении вызвать желаемое изменение.

Интенсивность процессов изменения структуры при нагреве зависит от температуры, скорости нагрева, времени выдержки, исходной структуры и химического состава стали.

Эти процессы исследуются с использованием диаграмм изотермического распада аустенита, которые строятся экспериментально и с помощью метода математического моделирования [1, 3]. Эти диаграммы описывают кинетику гамма – альфа превращений и получающиеся соответственно неравновесные структуры для определенных марок стали. Изменение химического состава, а также размер зерна аустенита оказывает существенное влияние на величины, характерные для данной диаграммы, а также получающиеся структуры и на их свойства.

Критические точки стали, по которым происходят фазовые и микроструктурные превращения, существенным образом зависят от ее химического состава. Согласно литературных данных легирующие элементы

вносят значительные изменения на превращения, происходящие при нагреве и охлаждении стали [2].

Влияние легирующих элементов определяется несколькими факторами: изменением поверхностной энергии на границах одноименных и разноименных фаз, положением критических точек  $A_1$  и  $A_3$ , скоростью  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, скоростью растворения карбидов, диффузией углерода и легирующих элементов. Для получения однородного аустенита требуется также диффузионное перемещение атомов легирующих элементов.

Процесс аустенизации будет задерживаться если в сталь ввести хром, молибден, вольфрам, ванадий и другие карбидообразующие элементы. Это происходит вследствие образования легированного цементита или карбидов легирующих элементов, более трудно растворимых в аустените. Процесс гомогенизации аустенита по содержанию легирующих элементов требует большего времени, так как диффузионная подвижность легирующих элементов в решетке  $\gamma$ -фазы значительно меньше, чем диффузионная подвижность углерода. Такие элементы, как никель и марганец, понижающие критические точки стали  $A_1$  и  $A_3$ , при нагреве могут ускорять процессы образования аустенита.

Последующие превращения в стали при различных скоростях охлаждения также зависят от легирующих элементов. Все легирующие элементы (за исключением кобальта) увеличивают устойчивость переохлажденного аустенита в области перлитного, бейнитного превращений, поэтому кривые начала и конца распада на диаграмме изотермического превращения сдвигают вправо, т.е. в сторону большего времени выдержки. Больше всего повышает устойчивость переохлажденного аустенита одновременное введение в сталь нескольких легирующих элементов, например хрома и никеля, хрома и молибдена и т.д., и при том в повышенном количестве. Также легирующие элементы оказывают влияние и на мартенситные превращения. Повышая устойчивость аустенита, они снижают критическую скорость закалки стали.

В настоящей работе был произведен анализ влияния легирующих элементов на положение критических точек стали  $A_1$  и  $A_3$ , которые, как указывалось выше, оказывают существенное влияние на происходящие превращения. Использовался статистический подход для обработки данных, которые получены при построении диаграмм изотермического распада аустенита экспериментальным и теоретическим путем некоторых марок сталей, широко используемых в промышленности. Химический состав этих сталей приведен в таблице 1.

Табл. 1. Химический состав исследуемых марок сталей

Марка стали	Содержание химических элементов, (% по массе)						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
20ХН3А	0,2	0,5	0,2	0,8	3,0	-	-
40Х	0,38	0,74	0,26	0,9	0,26	0,24	0,01
30ХНМ	0,33	0,4	0,24	0,54	1,22	0,4	0,01
40ХНМ	0,4	0,4	0,23	1,0	1,44	0,4	0,01

Критические точки сталей рассчитывались по формулам, приведенным в литературе [4]:

$$A_1 = 727 - 13Mn + (9 + 15X_C)Si + (-17 - 5X_C)Ni + (22 - 5X_C)Cr + (3,5 + 2X_C)X_{Mo}, \quad (1)$$

$$A_3 = 727 + 229X_C + (-13 - 30X_C)Mn + (9 + 66X_C)Si + (-17 - 22X_C)Ni + (22 - 70X_C)Cr + (3,5 + 52X_C)X_{Mo}, \quad (2)$$

$$M_H = 539 - 423(0,8 - X_C) - 30,4Mn - 17,7Ni - 12,1Cr - 7,5X_{Mo}, \quad (3)$$

$$M_K = M_H - 215, \quad (4)$$

$$X_C = 0,8 - C, \% , \quad (5)$$

$$X_{Mo} = (Mo - 0,08)^{0,5}, \text{ если } Mo > 0,09, \quad (6)$$

$$X_{Mo} = (10/9)Mo, \text{ если } Mo \leq 0,09, \quad (7),$$

где  $C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo$  – средняя концентрация элементов в стали, % (по массе).

Расчеты, проведенные по вышеуказанным формулам, показали большую сходимость теоретических результатов с экспериментальными данными, что показано в таблице 2.

Табл. 2. Сравнительные данные, полученные экспериментальным (числитель) и теоретическим (знаменатель) путем

A <sub>c3</sub> 805/795	Критические точки			
		A <sub>c3</sub>	M <sub>H</sub>	M <sub>K</sub>
20ХН3А		735/725	210/220	-
40Х	790/800	743/734	350/347	-/132
30ХНМ	773/795	715/716	-/360	-/145
40ХНМ	774/775	732/723	330/331	-/116

#### Список литературы

1. Ибрагимов Х.М. Основы технологических процессов термической обработки стали: учебное пособие / Х.М. Ибрагимов, В.И. Филатов, В.Л. Ильичёв – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009 – 68 с.
2. Горынин И.В., Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Принципы легирования, фазовые превращения, структура и свойства хладостойких свариваемых судостроительных сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2007. № 1. С. 9-15.
3. Trzaska J., Dobrzański L.A. Modelling of CCT diagrams for engineering and constructional steels // Journal of Materials Processing Technology. 2007. Vol. 192-193. P. 504-510.
4. Kariya N. High Carbon Hot-Rolled Steel Sheet and Method for Production Thereof. European patent Application EP 2.103.697.A1, 23.09.2009, 15 p.

#### Сведения об авторе:

Гордеева Элеонора Сергеевна – старший преподаватель, СевГУ, г. Севастополь.