

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА В ЕДИНОМ ОХЛАДИТЕЛЕ

**Заблоцкий В. К., Мелещенко И. Ю.**

Разработан метод построения диаграмм изотермического превращения аустенита, основанный на использовании в качестве единого охладителя сыпучего графита. Построены диаграммы для сталей 55Х4СМФ, 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ. Данные диаграммы отличаются от известных диаграмм тем, что характеризуют распад аустенита при изотермической выдержке ниже температуры начала мартенситного превращения. Исследованы особенности превращения аустенита для этих сталей в перлитной и бейнитно-мартенситных областях. Определены области повышенной устойчивости аустенита при охлаждении с температуры аустенизации. Рассчитаны критические скорости закалки для исследуемых сталей. В результате анализа построенных диаграмм даны рекомендации по назначению оптимальных температурных и временных параметров термической обработки данных сталей.

Розроблено метод побудови діаграм ізотермічного перетворення аустеніту, який оснований на використанні в якості єдиного охолоджувача сипучого графіту. Побудовані діаграми для сталей 55Х4СМФ, 65Х4СМФ та 65Х4ГМФ. Дані діаграми відрізняються від відомих діаграм тим, що характеризують розпад аустеніту при ізотермічній витримці нижче температури початку мартенситного перетворення. Досліджені особливості перетворення аустеніту для цих сталей у перлітній і бейнітно-мартенситних областях. Виявлені області підвищеної стійкості аустеніту при охолодженні з температури аустенизації. Розраховані критичні швидкості гартування для досліджених сталей. За результатами аналізу побудованих діаграм розроблено рекомендації щодо призначення оптимальних температурних і часових параметрів термічної обробки цих сталей.

The method of constructing diagrams of isothermic transformation of austenite, based on the use of granular graphite as a single cooler is developed. The diagrams for steels 55H4SMF, 65H4SMF and 65H4GMF are constructed. The peculiarities of austenite transformation for these steels in perlite and bainite-martensite areas are investigated. The areas of the increased stability of austenite in cooling from the temperature of austenization are determined. The critical quenching rates for the studied steels are calculated. As the result of the analysis of the constructed diagrams, the recommendations on the optimal temperature and time parameters of thermal treatment of steels are given. The presented diagrams differ from the known ones by the fact that they characterize the decomposition of austenite during isothermic holding below the temperature of martensite transformation.

Заблоцкий В. К.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ТОЛП ДГМА  
[tolp@dgma.donetsk.ua](mailto:tolp@dgma.donetsk.ua)

Мелещенко И. Ю.

ассистент кафедры ТОЛП ДГМА

УДК 621.7.011.669.14.018.252.3

Заблоцкий В. К., Мелещенко И. Ю.

**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА В ЕДИНОМ ОХЛАДИТЕЛЕ**

Разработан метод построения диаграмм изотермического превращения аустенита, основанный на использовании в качестве единого охладителя сыпучего графита. Построены диаграммы для сталей 55Х4СМФ, 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ. Исследованы особенности превращения аустенита для этих сталей в перлитной и бейнитно – мартенситных областях. Определены области повышенной устойчивости аустенита при охлаждении с температуры аустенизации. Рассчитаны критические скорости закалки для исследуемых сталей. В результате анализа, построенных диаграмм, даны рекомендации по назначению оптимальных температурных и временных параметров термической обработки данных сталей.

При построении диаграмм изотермического превращения аустенита структурным или дюрOMETрическим методами существует две проблемы: выбор изотермической среды (соляные, щелочные или свинцовые ванны) и перенос образцов из нагревательной печи в изотермическую среду [1].

При построении диаграмм с использованием в качестве изотермической среды щелочей, для обеспечения нагрева в широком диапазоне температур от 150 °С до 700 °С, необходимо использовать несколько сред, приведенных в табл. 1, отличающихся по химическому составу (так как рабочая температура щелочей охватывает узкий диапазон температур) [2].

Таблица 1

Химический состав и свойства изотермических сред

Химический состав	Температура плавления, °С	Температурная область применения, °С
NaOH	328	350–700
KOH	360	400–650
20 % NaOH + 80 % KOH с добавкой 6 % H <sub>2</sub> O	130	150–250
20 % NaOH + 80 % KOH	160	180–350

С поверхности образцов, закаленных в щелочных ваннах, необходимо смывать остатки щелочи. Однако даже тщательный смыв щелочи с поверхности образца не предохраняет его от повышенной атмосферной коррозии.

Основной недостаток щелочных ванн – это не большая долговечность и стабильность свойств. Кроме того, поглощение диоксида углерода с воздуха приводит к образованию карбонатов натрия и калия, а в случае загрязнения ванны хлоридом бария из нагревательной соли также и карбонатом бария. Карбонаты вместе с оксидами металла приводят к загустению щелочной ванны, изменению ее состава и охлаждающей способности. Противодействие таким явлениям состоит в сборе сгустков, добавке свежих щелочей, раскисление добавками K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> или боракса, а также их смесями. Следовательно, необходимость постоянного контроля свойств щелочных ванн создает большие неудобства в их применении.

Легковоспламеняемость и взрывоопасность селитровых солей, химическая агрессивность щелочей и высокая температура этих сред – факторы, требующие строгого соблюдения инструкций по технике безопасности как при изготовлении устройств для этих ванн, так и при

их обслуживании. Участок термической обработки в соляных ваннах, особенно в селитровых, должен быть расположен в отдельном или огражденном от других установок помещении с хорошей вентиляцией и двумя аварийными выходами. В помещении всегда должен находиться огнетушитель с диоксидом углерода. Во время погружения предметов на подвесках или в корзинах в соляную ванну рабочие должны быть в защитных рукавицах и иметь прозрачную защиту лица. Садка не должна быть влажной, замасленной или загрязненной углем. Не следует хранить вблизи ванны, а тем более доводить до контакта с солью какие – либо горючие материалы (дерево, масло, углерод, бумага, резина), цианистые соли, легко окисляющиеся металлы, например, сплавы магния и т. д. Детали аустенитизированные в соляных ваннах, содержащих цианиды, следует перед закалкой в соляных ваннах погружать в нейтральную хлористую ванну с температурой, близкой к температуре аустенизации. В селитровых ваннах не следует применять никаких защитных покрытий, особенно из углерода, контакт которого с селитрой грозит взрывом. Для гашения возможного пожара могут быть использованы огнетушители, заполненные диоксидом углерода, или сухой песок, категорически запрещено тушение водой [2].

Поэтому построение диаграмм изотермического превращения аустенита с помощью указанных методов является сложной задачей и требует высокой квалификации исследователей. Если на предприятии, занимающемся термической обработкой инструмента, возникнет необходимость построения диаграммы изотермического превращения аустенита определенной стали, то это повлечет за собой не только освоение самого процесса построения, но и приобретение необходимого оборудования и оснастки.

Целью работы является усовершенствование существующего метода построения подобных диаграмм таким образом, чтобы при необходимости любое предприятие могло быстро, эффективно и с малыми затратами освоить процесс построения диаграмм изотермического превращения аустенита.

Для устранения указанных недостатков был разработан метод построения диаграмм изотермического превращения аустенита, основанный на использовании в качестве изотермической среды сыпучего графита [3].

Преимуществами сыпучего графита являются следующие свойства:

– высокая теплопроводность (которая равняется 3,55 Вт·град/см и занимает место между палладием и платиной), что способствует высокому уровню теплопередачи изотермической среды образцу;

– низкий коэффициент теплового расширения и связанная с этим высокая стойкость к температурным напряжениям дают возможность использовать сыпучий графит в широком диапазоне температур (от 50 до 700 °С), это позволяет строить диаграмму в единой изотермической среде;

– высокая жирность (чем выше жирность графита, тем меньше коэффициент трения), позволяет легко погружать и вытаскивать предметы из среды [4].

В качестве изотермической среды следует использовать серебристый графит марки ГЛ-1 по ГОСТ 5279-74. Так как графит не является агрессивной средой, то его использование не требует специальной оснастки и особых средств защиты для персонала при работе с ним.

Во избежание потерь тепла при перемещении образцов из нагревательной печи в изотермическую среду их нагревают в трубке из нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т или углеродистой аллитированной стали [5].

Сущность метода заключается в следующем. Образец размером 3 × 5 × 20 мм, помещенный в стальную трубку, нагревали под закалку при температуре аустенизации (для сталей 55Х4СМФ и 65Х4СМФ 880 °С, а для стали 65Х4ГМФ 860 °С) и выдерживали 30 мин в электрической печи шахтного типа (рис. 1, а). Затем переносили образец в другую печь (рис. 1, б) и охлаждали в изотермической среде при 100...700 °С через каждые 50 °С в течение времени от 100 до 100 000 с, с последующей закалкой в воде.

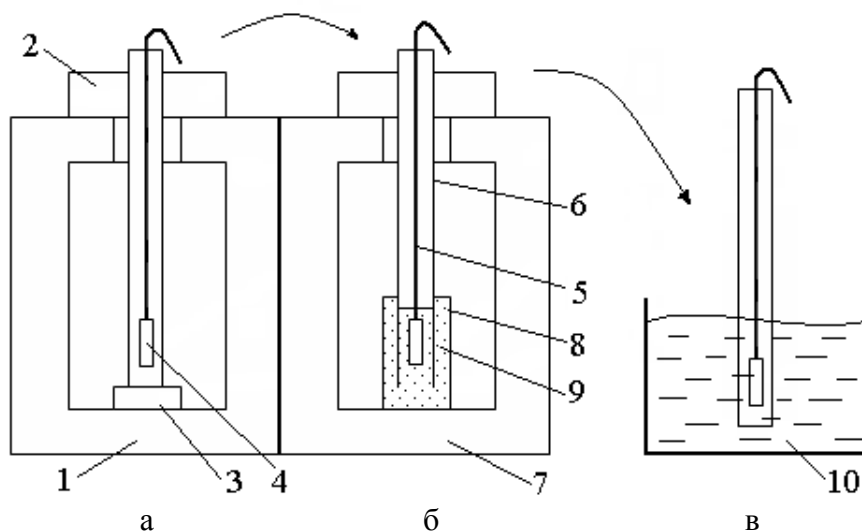


Рис. 1. Схема проведения эксперимента:

1 – электропечь сопротивления шахтная лабораторная СШОЛ – 1.1,6/12–МЗ–У4.2 № 1; 2 – крышка печи; 3 – кирпич; 4 – образец; 5 – жаростойкий стальной прут; 6 – стальная трубка диаметром 12 мм; 7 – электропечь сопротивления шахтная лабораторная СШОЛ – 1.1,6/12–МЗ–У4.2 № 2; 8 – стальной стакан диаметром 80 мм; 9 – изотермическая среда; 10 – бак с водой

Обязательные интервалы времени выдержки составляли  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  и  $10^5$  с. Промежуточные интервалы времени выдержки корректировали по характеру изменения твердости стали [6].

Обязательным условием проведения эксперимента является то, что расстояние между печами должно быть минимальным. Рядом с печью, в которой проводится изотермическая выдержка, необходимо установить бак с водой комнатной температуры (рис. 1, в).

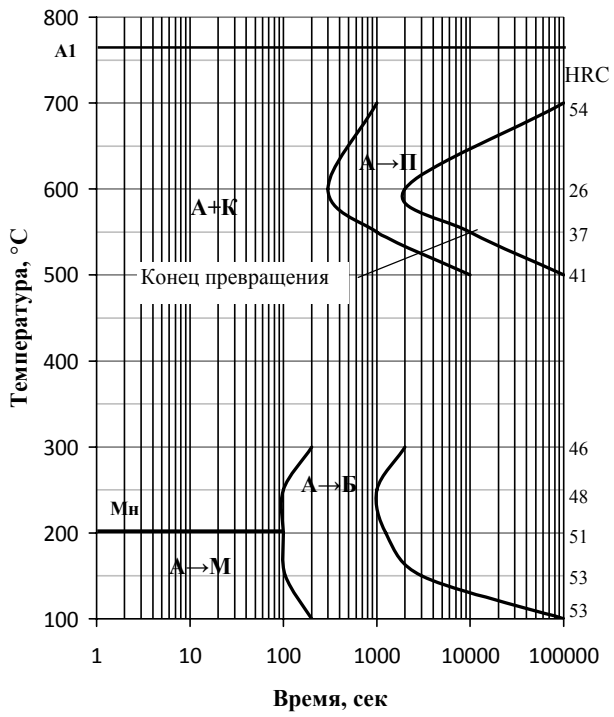
По замерам твердости определяют начало и конец превращений аустенита, на основании которых осуществляется построение диаграммы изотермического превращения аустенита. С применением указанного метода были построены диаграммы изотермического превращения аустенита сталей 55Х4СМФ, 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ (рис. 2).

Анализ, этих диаграмм показал, что в зависимости от степени переохлаждения, в исследуемых сталях наблюдается несколько температурных областей превращения:  $700\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$  – перлитное превращение и  $300\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$  – бейнитное и мартенситное превращение. Между указанными интервалами аустенит обладает высокой устойчивостью к превращениям.

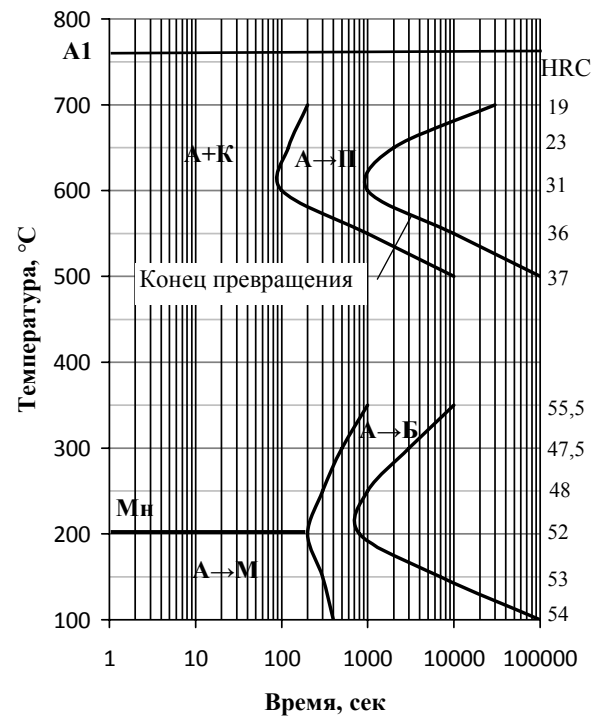
Данные диаграмм изотермического превращения аустенита дают возможность определить критические скорости закалки исследуемых сталей [7]. Для стали 55Х4СМФ критическая скорость закалки составила  $3,7\text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$ , для стали 65Х4СМФ –  $1,9\text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$ , для стали 65Х4ГМФ –  $3,6\text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$ . Можно предположить, что увеличение количества углерода способствует снижению критической скорости закалки, а комплексное увеличение С, Мп и уменьшение Si на критическую скорость влияет не значительно.

Для удобства характеристики перлитного и бейнитного превращений различных сталей, имеющих общее происхождение, эти области более удобно представлять в виде отдельных частей диаграмм изотермического превращения аустенита, как это показано на рис. 3, 4.

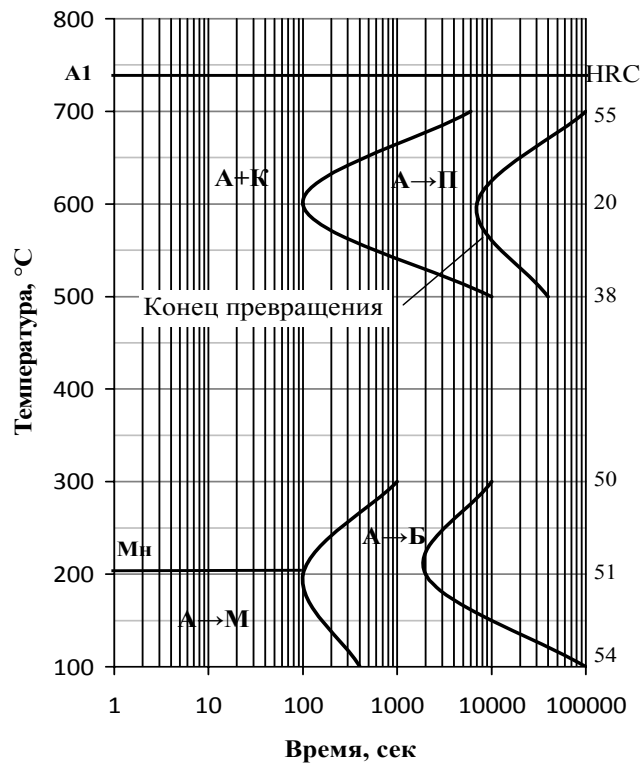
Как следует из рис. 3, при более высоких или низких температурах инкубационный период равен минутам или часам. Так при температуре  $700\text{ }^\circ\text{C}$  в стали 55Х4СМФ он равен 17 минут, в стали 65Х4СМФ – 3 минуты, а в стали 65Х4ГМФ – 1 час 40 минут. Здесь видно, что марганец значительно уменьшает скорость превращения.



а



б



в

Рис. 2. Диаграммы изотермического превращения аустенита:  
а – сталь 55X4CMΦ; б – сталь 65X4CMΦ; в – сталь 65X4ГМФ

При температуре 600 °С в стали 55Х4МСФ он равен 5 минут, в сталях 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ – 1 минута 40 секунд. Здесь можно говорить о том, что увеличение количества углерода способствует увеличению скорости распада аустенита. Эта температура для всех исследуемых сталей является температурой минимальной устойчивости аустенита. При температуре 500 °С инкубационный период для всех исследуемых сталей равен 2 часа 47 минут.

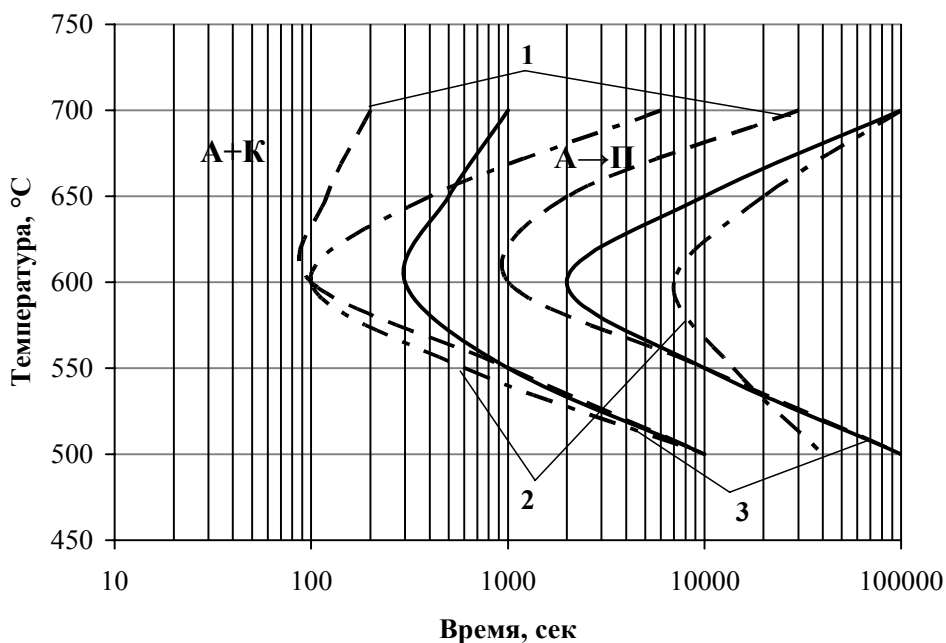


Рис. 3. Влияние химического состава сталей на начало и конец превращения аустенита в перлитной области:

1 – сталь 65Х4СМФ; 2 – сталь 65Х4ГМФ; 3 – сталь 55Х4МСФ

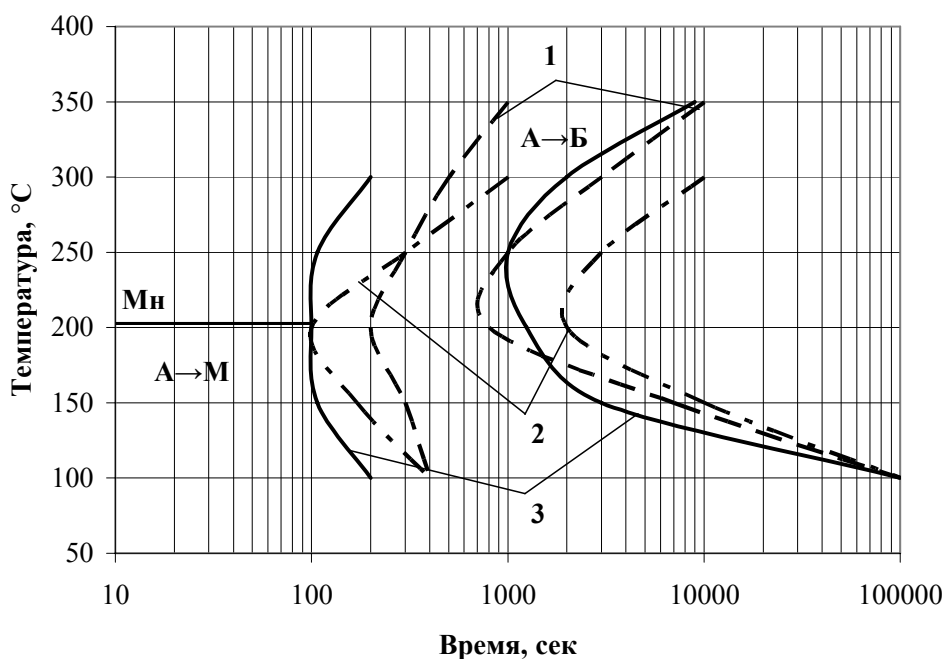


Рис. 4. Влияние химического состава сталей на начало и конец превращения аустенита в бейнитной и мартенситной областях:

1 – сталь 65Х4СМФ; 2 – сталь 65Х4ГМФ; 3 – сталь 55Х4МСФ

В изотермических условиях бейнитное превращение начинается после некоторого инкубационного периода. При температуре 300 °С для стали 55Х4СМФ он составляет 3 минуты, для стали 65Х4СМФ – 8 минут, а для стали 65Х4ГМФ – 17 минут (рис. 4). Таким образом, увеличение количества углерода уменьшает скорость бейнитного превращения.

Анализ полученных диаграмм (рис. 2) дает возможность определить температурные и временные параметры предварительной и окончательной термической обработки исследуемых сталей. Таким образом, для получения невысокой твердости (20–25 HRC) рекомендуется проводить изотермический отжиг с выдержкой при температуре минимальной устойчивости аустенита, продолжительность которой зависит от химического состава стали: для стали 55Х4СМФ она составила 30 минут, для стали 65Х4СМФ – 20 минут, а для стали 65Х4ГМФ 2 часа. Окончательную термическую обработку назначают в зависимости от требований, предъявляемых к готовому изделию. Например, если из исследуемых сталей изготовили инструмент диаметром до 5 мм, который должен обладать высокой твердостью, износостойкостью и при этом иметь хорошие вязкие свойства, то в качестве окончательной термической обработки рекомендуется проводить изотермическую закалку с охлаждением в сыпучем графите и окончательным охлаждением в воде после изотермической выдержки. Изотермическая выдержка назначается при температуре 300 °С (твердость 50–55 HRC) продолжительность выдержки составляет для стали 55Х4СМФ составила 33 минуты, для стали 65Х4СМФ – 50 минут и для стали 65Х4ГМФ – 2 часа 47 минут. Следует отметить, что на практике выдержка должна быть увеличена на время, необходимое для прогрева изделия по всему сечению при заданной температуре.

### ВЫВОДЫ

1. Впервые разработан метод построения диаграмм изотермического превращения аустенита, основанный на использовании в качестве изотермической среды сыпучий графит. Показано, что использование сыпучего графита позволяет строить диаграммы в единой среде, что значительно ускорило и упростило процесс построения.

По разработанному методу были построены диаграммы изотермического превращения аустенита новых марок сталей 55Х4СМФ, 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ.

2. Показано, что данные диаграммы отличаются от известных диаграмм тем, что характеризуют распад аустенита при изотермической выдержке ниже температуры начала мартенситного превращения  $M_n$ . Установлено, что увеличение количества углерода способствует снижению критической скорости закалки: для стали 55Х4СМФ она составила 3,7 °С/сек, а для стали 65Х4СМФ – 1,9 °С/сек. Однако комплексное увеличение С, Mn и уменьшение Si на критическую скорость влияет не значительно – 3,6 °С/сек для стали 65Х4ГМФ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попова Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: [справочник] / Л. Е. Попова, А. А. Попов. – М. : Металлургия, 1999. – 502 с.
2. Люты В. Закалочные среды: [справочник] / В. Люты; [пер. с польского Г. Н. Мехеда; под ред. С. Б. Масленкова]. – Челябинск : Металлургия, Челябинское отделение, 1990. – 192 с.
3. Пат. 43690 Україна, МПК C21D 9/22. Спосіб термічної обробки сталі / Заблоцкий В. К., Фельдман В. С., Фесенко А. М., Федорінов В. А., Шимко О. І., Мелещенко І. Ю., Фесенко М. А., Корсун В. А., Шимко В. І.; Донбаська державна машинобудівна академія – № и 2009 03360; заявл. 08.04.09; опубл. 25.08.09, Бюл. № 16.
4. Мелешко А. И. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты / А. И. Мелешко, С. П. Половников. – М. : САЙНС-ПРЕСС, 2007. – 192 с.
5. Заблоцкий В. К. Особенности влияния алитирования на структуру и свойства стали 10 / В. К. Заблоцкий, А. И. Шимко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 6. – С. 33–36.
6. Заблоцкий В. К. Особенности превращений в сталях 65Х4СМФ и 65Х4ГМФ при изотермической выдержке в перлитной области при температуре минимальной устойчивости аустенита / В. К. Заблоцкий, И. Ю. Мелещенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 3/1 (27). – С. 75–79.
7. Гуляев А. П. Металловедение : [учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп.] / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.