

*М. ДИНЕЙХАН<sup>1</sup>, В. В. СУМИН<sup>2</sup>, Д. Т. АЗНАБАЕВ<sup>2</sup>,  
Б. МУХАМЕТУЛЫ<sup>1</sup>, А. К. БЕКБАЕВ<sup>1</sup>, И. А. ЧУПРАКОВ<sup>2</sup>*

(<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы;

(<sup>2</sup>Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, ОИЯИ, г. Дубна, Россия)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Порошковых сталей**

### **Аннотация**

В работе рассматриваются методы термической обработки, при которых путем нагрева, выдержки при установленных температурах и последующего медленного охлаждения стали получают устойчивую структуру, свободную от остаточных напряжений. Цель термической обработки стальных изделий – снять внут-ренние напряжения, устранить структурную неоднородность, улучшить обрабатываемость резанием и подготовить к последующей термической обработке.

В результате термической обработки свойства сплавов могут меняться в очень широких пределах. Возможность значительного повышения механических свойств с помощью термической обработки по сравнению с исходным состоянием позволяет увеличить допускаемые напряжения, а также уменьшить размеры и вес детали. Основными видами термической обработки стали являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

**Ключевые слова:** отжиг, внутренние напряжения, диффузия.

**Кілт сөздер:** босандату, ішкі кернеу, диффузия.

**Keywords:** annealing, internal stress, diffusion.

**Введение.** Термической обработкой называют процессы, связанные с нагревом и охлаждением, вызывающие изменения внутреннего строения сплава, и в связи с этим – изменения физических, механических и других свойств [1].

Отжиг сталей – это термическая обработка, представляющая собой нагрев до температуры, превышающей критические точки, выдержку при ней до полного прогрева металла и последующее медленное охлаждение. Существует также неполный и низкотемпературный отжиг, при которых происходит только частичная перекристаллизация. **Отжиг сталей** производится с целью уменьшения твёрдости, повышения пластичности и улучшения свойств при **обработке металла резанием**. Отжиг бывает нормализационный и изотермический. Нормализационный **отжиг сталей** – это процесс обработки сталей, заключающийся в нагреве до температуры на 30–50°С выше верхних, критических точек, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе. Нормализация применяется в случаях, когда при **производстве деталей** не так важна пластичность, но необходимо получить мелкозернистую структуру, обладающую высокой твёрдостью и прочностью.

Изотермический отжиг сталей – это вид **термообработки деталей**, заключающийся в нагреве стали до температуры, на 30–50 оС превышающей верхнюю критическую точку, выдержке при этой температуре, а затем переносе детали в другую печь с заданной температурой (ниже верхней критической точки) и изотермическую выдержку ее до полного распада аустенита. Такая процедура позволяет улучшить обрабатываемость стали резанием и применяется для заготовок небольших размеров. При отжиге сталей происходят процессы возврата (отдыха металлов), рекристаллизации и гомогенизации. Диффузионный отжиг состоит в нагреве до температур, значительно превосходящих критические точки, и продолжительной выдержке; используется для выравнивания неоднородностей распределения элементов по объёму изделия. С помощью диффузионного отжига сталей можно добиться особенного улучшения механических свойств в поперечном по отношению к прокатке направлении. Гомогенизационный отжиг – это термообработка литого материала, обеспечивающая получение равновесной структуры. При гомогенизационном отжиге сталей происходят следующие процессы: выравнивание химического состава до равновесного, растворение избыточных фаз, выделение фаз из перенасыщенного раствора (в случае алюминиевых сплавов, содержащих хром, цирконий и скандий), рост зерна и образование и рост пор. При гомогенизационном отжиге материал не должен испытывать перегрева.

**Рекристаллизационный отжиг стали** (рекристаллизация) – нагрев до температур 500–550°; отжиг для снятия внутренних напряжений – нагрев до температур 600–700°. Эти виды отжига снимают внутренние напряжения металла отливок от неравномерного охлаждения их частей, также в заготовках, обработанных давлением (прокаткой, волочением, штамповкой) с использованием температур, ниже критических. Вследствии рекристаллизационного отжига из деформированных зерен вырастают новые кристаллы, ближе к равновесным, поэтому твердость стали снижается, а пластичность, ударная вязкость увеличиваются. Чтобы полностью снять внутренние напряжения стали, нужна температура не менее 600°. Охлаждение после выдержки при заданной температуре

должно быть достаточно медленным: вследствие ускоренного охлаждения металла вновь возникают внутренние напряжения.

**Термообработка. Закалка стали.** К дефектам закалки относятся: трещины, поводки или коробление и обезуглероживание. Главная причина трещин и поводки – неравномерное изменение объема детали при нагреве и особенно при резком охлаждении. Другая причина – увеличение объема при закалке на мартенсит. Трещины возникают потому, что напряжения при неравномерном изменении объема в отдельных местах детали превышают прочность металла в этих местах. Лучшим способом уменьшения напряжений является медленное охлаждение около температуры мартенситного превращения. При конструировании деталей необходимо учитывать, что наличие острых углов и резких изменений сечения увеличивает внутреннее напряжение при закалке. Коробление (или поводка) возникает также от напряжений в результате неравномерного охлаждения и проявляется в искривлениях деталей. Если эти искривления невелики, они могут быть исправлены, например, шлифованием. Трещины и коробление могут быть предотвращены предварительным отжигом деталей, равномерным и постепенным нагревом их, а также применением ступенчатой и изотермической закалки. Обезуглероживание стали с поверхности – результат выгорания углерода при высоком и продолжительном нагреве детали в окислительной среде. Для предотвращения обезуглероживания детали нагревают в восстановительной или нейтральной среде (восстановительное пламя, муфельные печи, нагрев в жидких средах).

Образование окалины на поверхности изделия приводит к угару металла, деформации. Это уменьшает теплопроводность и, стало быть, понижает скорость нагрева изделия в печи, затрудняет механическую обработку. Удаляют окалину либо механическим способом, либо химическим (травлением). Выгоревший с поверхности металла углерод делает изделия обезуглероженным с пониженными прочностными характеристиками, с затрудненной механической обработкой. Интенсивность, с которой происходит окисление и обезуглероживание, зависит от температуры нагрева, т.е. чем больше нагрев, тем быстрее идут процессы. Образование окалины при нагреве можно избежать, если под закалку применить пасту, состоящую из жидкого стекла – 100 г, огнеупорной глины – 75 г, графита – 25 г, буры – 14 г, карборунда – 30 г, воды – 100 г. Пасту наносят на изделие и дают ей высохнуть, затем нагревают изделие обычным способом. После закалки его промывают в горячем содовом растворе. Для предупреждения образования окалины на инструментах быстрорежущей стали применяют покрытие бурой. Для этого нагретый до 850°C инструмент погружают в насыщенный водный раствор или порошок буры.

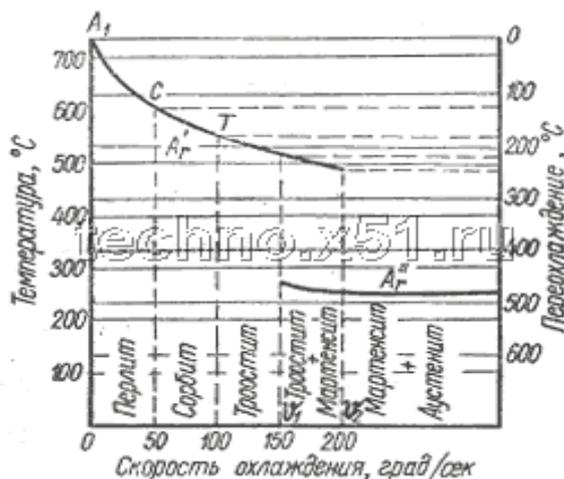
**Термическая обработка (термообработка) стали, цветных металлов** – процесс изменения структуры стали, цветных металлов, сплавов при нагревании и последующем охлаждении с определенной скоростью. Термообработка приводит к существенным изменениям свойств стали, цветных металлов, сплавов. Химический состав остается в неизменном виде [3].



– Если скорость охлаждения увеличивается до  $50 \text{ град/сек}$ , то распадение аустенита не успевает закончиться, размеры пластинок цементита достигают лишь десятых долей микрона, они различимы только при очень больших увеличениях.

Если скорость охлаждения увеличивается до  $100 \text{ град/сек}$ , то полностью успевает завершиться лишь второй этап распадаения аустенита, а третий этап останавливается в самом начале. Поэтому размеры пластинок цементита измеряются сотысячными и миллионными долями миллиметра. Эта структура носит название троостита. Наличие тончайших пластинок цементита можно обнаружить с помощью электронного микроскопа.

Если скорость увеличить  $150\text{--}200 \text{ град/сек}$ , то успевает завершиться лишь перегруппировка атомов железа, образуется пересыщенный метастабильный твердый раствор внедрения углерода в альфа-железе с искаженной кристаллической решеткой. Эта структура называется мартенситом [4, 5]. При нагреве мартенсит переходит в более устойчивые структуры: троостит, сорбит и перлит. Мартенситные стали получают путем реализации только первого этапа вторичной кристаллизации, имеет характерное пластинчатое, под микроскопом – игольчатое, строение. Рост пластин путем сдвига происходит мгновенно со скоростью около  $1000 \text{ м/с}$  по бездиффузионному механизму, так как диффузионный переход атомов из кристаллов аустенита в мартенсит при низких температурах невозможен. Мартенсит имеет наибольший удельный объем по сравнению с другими структурными составляющими стали, и, особенно, с аустенитом. Увеличение удельного объема при образовании мартенсита приводит к возникновению при закалке больших внутренних напряжений, вызывающих деформацию изделий или даже появление трещин.



## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. *Металловедение*. – М.: Металлургия, 1969. – 456 с.
- 2 Chernov V.M., Leonteva-Smirnova M.V., Potapenko M.M. Structural materials for fusion power reactors the RF R&D activities // *Nuclear Fusion*. – 2007. – Vol. 47. – Issue 8. – P. 839-848.
- 3 Кислый П.С., Голубях Л.С., Заверуха О.В. Порошковая металлургия // 1970. – № 9. – С. 94-98.
- 4 Андриевский Р.А. // В кн.: Материалы Всесоюзной конференции Исследование и разработка теоретических проблем в области порошковой металлургии и защитных покрытий. – Минск: 1984. – Ч. 3. – С. 14-23.
- 5 Bokuchava G.D., Aksenov V.L., Balagurov A.M. et al. // *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Processing*. – 2002. – Vol. 74. – Suppl. 1. – P. s86.

## REFERENCES

- 1 Samohockij A.I., Kunjavskij M.N. *Metallovedenie*. – *izd-vo «Metallurgija»*. Moskva, **1969**, 456s. (in Russ.)
- 2 Chernov V.M., Leonteva-Smirnova M.V., Potapenko M.M. Structural materials for fusion power reactors the RF R&D activities , *Nuclear Fusion*. **2007**, V. 47. Issue8. P. 839-848.
- 3 Kislyj P.S., Golubjah L.S., Zaveruha O.V. Poroshkovaja metallurgija, **1970**, №9, s. 94-98. (in Russ.)
- 4 Andrievskij R.A. - V kn.: Materialy Vsesojuznoj konferencii Issledovanie i razrabotka teoreticheskikh problem v oblasti poroshkovoj metallurgii i zashhitnyh pokrytij. *Minsk*: **1984**, ch. 3, s. 14-23.(In Russ.)
- 5 Bokuchava G.D., Aksenov V.L., Balagurov A.M. et al. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Processing*. **2002**, V. 74.Suppl. 1. P. s86.

## Резюме

*М. Дінейхан<sup>1</sup>, В. В. Сумин<sup>2</sup>, Д. Т. Азнабаев<sup>2</sup>,*

*Б. Мұхаметұлы<sup>1</sup>, А. К. Бекбаев<sup>1</sup>, И. А. Чупраков<sup>2</sup>*

(<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.;

<sup>2</sup>Франк атындағы Нейтрондық физика зертханасы, Дубна, Ресей)

## ҰНТАҚТЫ БОЛАТТАРДЫҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ӨНДЕУ ҮДЕРІСІН ЗЕРТТЕУ

Бұл жұмыста алдымен қыздырып, белгілі температурада ұстап және болатты баяу суыту арқылы қалдық кернеуге тәуелді емес, бекем құрылымы бар материалдарды термиялық өңдеу әдістері қарастырылады. Болатты өнімдерді термиялық өңдеудің мақсаты – ішкі кернеуді болдырмау, құрылымдық біртекті еместікті жою, кесу арқылы өңделіп шығуды жақсарту және келесі термиялық өңдеуге дайындау.

**Кілт сөздер:** босандату, ішкі кернеу, диффузия.

### Summary

*M. Dineykhan<sup>1</sup>, V. V. Sumin<sup>2</sup>, D. T. Aznabaev<sup>2</sup>,*

*B. Muxametuly<sup>1</sup>, A. K. Bekbaev<sup>1</sup>, I. Chuprakov<sup>2</sup>*

(<sup>1</sup>Kazakh National University after al-Farabi, Almaty;

<sup>2</sup>Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR, Dubna, Russia)

## INVESTIGATION OF THERMAL PROCESSING OF POWDER STEELS

This paper examines methods of heat treatment by way of heating, soaking at specified temperature, and subsequent slowly cooling the stable structured, free from residual stresses steel is obtained. The purpose of heat treatment of steel products is to remove internal stress, to eliminate structural heterogeneity, to improve workability by cutting and to prepare for the subsequent heat treatment.

**Keywords:** annealing, internal stress, diffusion.

*Поступила 27.03.2013г*