



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-52-54>  
УДК 669

Поступила 19.04.2023  
Received 19.04.2023

## ОТЖИГ ЗАГОТОВОК ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

И. А. ПАНКОВЕЦ, В. С. ПУТЕЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,  
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: [teh.icm@bmz.gomel.by](mailto:teh.icm@bmz.gomel.by)

*Разработан процесс термообработки (гомогенизация) заготовок перед прокатом, проведено совершенствование гомогенизационного отжига заэвтектоидных марок сталей в прокатном производстве. В результате совершенствования удалось совместить процесс нагрева до температуры пластической деформации и процесс гомогенизации заготовок. В частности, определен оптимальный режим нагрева и выдержки при заданных температурах в проходной нагревательной печи с целью снижения карбидной неоднородности (ликвации) стали и снижения издержек. Гомогенизация – технологический процесс, производимый над двух- или многофазной системой, в ходе которого уменьшается степень неоднородности распределения карбидных фаз по объему гетерофазной системы.*

**Ключевые слова.** Нагревательная печь, термообработка, отжиг, гомогенизация, карбидная неоднородность, заэвтектоидные марки стали, подшипниковые стали.

**Для цитирования.** Панковец, И. А. Отжиг заготовок заэвтектоидных марок сталей / И. А. Панковец, В. С. Путьев // Литье и металлургия. 2023. № 2. С. 52–54. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-52-54>.

## ANNEALING OF WORK PIECES OF HYPEREUTECTOID GRADES OF STEELS

I. A. PANKOVETS, V. S. PUTEEV, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”,  
Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: [teh.icm@bmz.gomel.by](mailto:teh.icm@bmz.gomel.by)

*The process of heat treatment (homogenization) of workpieces before rolling has been developed, the homogenization annealing of hypereutectoid grades of steels in rolling production has been improved. Because of the improvement, it was possible to combine the process of heating to the temperature of plastic deformation and the process of homogenization of workpieces. In particular, the optimal mode of heating and holding at certain temperatures in a pass-through heating furnace was determined in order to reduce the carbide heterogeneity (liquation) of steel and reduce costs. Homogenization is a technological process carried out over a two- or multiphase system, during which the degree of heterogeneity of the distribution of carbide phases over the volume of a heterophase system decreases.*

**Keywords.** Heating furnace, heat treatment, annealing, homogenization, carbide heterogeneity, hypereutectoid steel grades, bearing steels.

**For citation.** Pankovets I.A., Puteev V.S. Annealing of work pieces of hypereutectoid grades of steels. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 2, pp. 52–54. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-52-54>.

Основой способа термической обработки непрерывнолитых заготовок является диффузионный отжиг в камерной печи [1, 2], включающий такие этапы, как нагрев и выдержка при определенных температурах порядка 10 ч. После охлаждения осуществляется повторный нагрев в методической (проходной) печи до температуры 1300 °С перед прокатом. Таким образом, основным мероприятием, направленным на уменьшение карбидной ликвации в заэвтектоидных сталях, является создание условий для диффузии – равномерного распределения атомов карбида железа, хрома, марганца и т. д. по всему объему заготовки. Согласно формуле Стокса-Эйнштейна, диффузия напрямую зависит от абсолютной температуры вещества, чем выше температура, тем выше поток частиц [3]. Гомогенизирующий отжиг проводят на слитках и непрерывнолитых заготовках при температурах порядка 1200 °С и с продолжительностью выдержки не менее 10 ч. Выбранный режим обеспечивает полное протекание диффузионных процессов, приводящих к выравниванию и распределению карбидных соединений по всему объему металла [4].

Существенными недостатками гомогенизирующего отжига являются длительность отжига в камерной печи; необходимость наличия подогревательных печей после выплавки и разливки заготовок; необходимость повторного нагрева перед пластической деформацией; сложные технические решения по термообработке в процессе проката. Такие способы термической обработки требуют дополнительного

оборудования, включающего в себя значительные временные затраты, затраты энергоносителей на повторный нагрев и сложности в управлении по достижению результата в области качества конечного продукта. Перспективное решение – это гомогенизирующий отжиг в проходной нагревательной методической печи. Такой способ позволяет использовать два производственных процесса одновременно: диффузию карбидов; нагрев заготовок до температуры пластической деформации перед обработкой металла давлением (рис. 1).

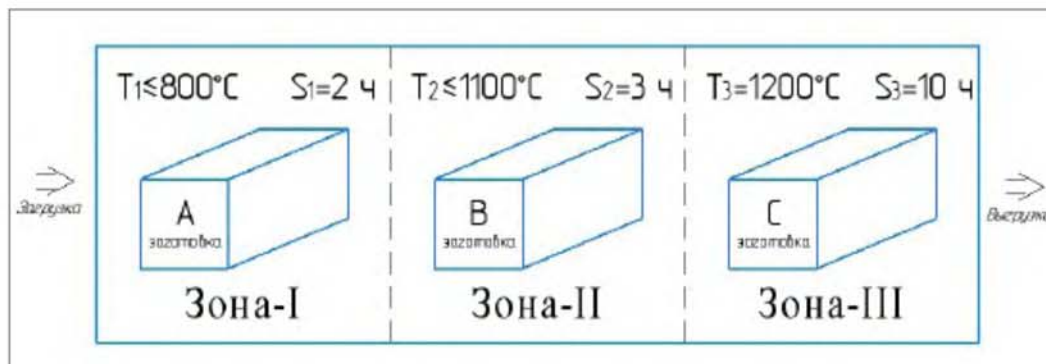


Рис. 1. Схематичное расположение заготовок «А», «В» и «С» в проходной печи с тремя зонами нагрева

Таким образом, с целью выдержки каждой заготовки при температуре 1200 °С в течение 10 ч заготовка «С» суммарно будет находиться в печи 15 ч, заготовки «В» и «А» – 23 и 35 ч соответственно. Подобное решение подходит для небольшого количества материала, находящегося в нагревательной зоне с температурой порядка 1200 °С, так как при нахождении в печи более 20 ч повышается риск получения дефектов, таких, как перегрев и пережог. Для повышения производительности и использования всего печного пространства необходим учет времени нагрева в низкотемпературных зонах.

Решение поставленной задачи достигается путем расчета времени нагрева каждой зоны печи в процессе диффузии карбидов через поправочные коэффициенты для гомогенизирующего отжига по формуле:

$$S = s_1 k_1 + s_2 k_2 + s_3 k_3,$$

где  $S$  – дифференцированное время нагрева в печи;  $s$  – фактическое время нахождения в 1, 2, 3-й зонах;  $k$  – поправочный коэффициент в 1, 2, 3-й зонах.

Определение времени отжига происходит с учетом времени нахождения заготовок в низкотемпературных зонах. Расчет времени осуществляется через поправочные коэффициенты для каждой отдельной зоны методической нагревательной печи. Время нагрева, рассчитанное при помощи поправочных коэффициентов, является дифференцированным. Дифференцированный нагрев – способ расчета времени нагрева в зависимости от времени нахождения заготовок и фактической температуры в каждой зоне, так как диффузии карбидов необходим определенный объем энергии. Объем поглощенной энергии зависит от времени и температуры нагрева.

Поправочные коэффициенты получены эмпирическим путем. Выбор поправочного коэффициента осуществляется в зависимости от фактической температуры в той или иной зоне печи (рис. 2).

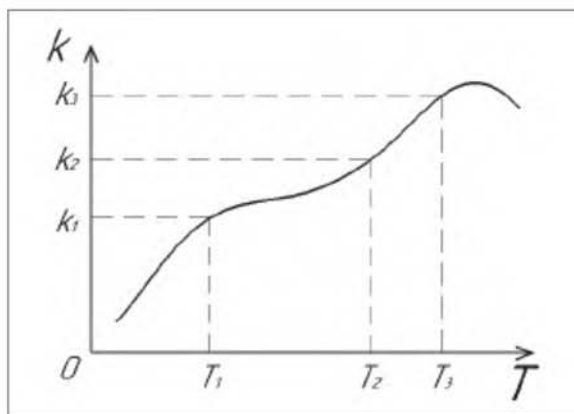


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента от температуры

Совершенствование процесса состоит в определении дифференцированного времени путем расчета реального времени нагрева каждой зоны печи в процессе диффузии карбидов через поправочные коэффициенты для гомогенизирующего отжига. Это совмещение процесса гомогенизации и нагрева перед пластической деформацией за счет дифференцированного подсчета времени. Дифференцированный способ подсчета времени заэвтектидных марок сталей с целью снижения карбидной неоднородности учитывает время нахождения заготовок в каждой зоне, тем самым способствует контролю и управлению процессом гомогенизации, снижает общее время нахождения в печи и затраты энергоносителей, необходимых на отжиг.

По результатам гомогенизации с дифференцированным подсчетом времени нагрева, проведенной на подшипниковых марках стали, удалось повысить производительность методической нагревательной печи на 25 % за счет снижения времени нагрева при условии выполнения требований к уровню карбидной неоднородности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Спектор, А. Г.** Структура и свойства подшипниковых сталей / А. Г. Спектор, Б. М. Зельберт, С. А. Киселева. М.: Металлургия, 1980. 264 с.
2. **Воинов, С. Г.** Шарикоподшипниковая сталь / С. Г. Воинов, А. Г. Шалимов. М.: Metallurgizdat, 1962. 480 с.
3. **Бокштейн, Б. С.** Атомы блуждают по кристаллу / Б. С. Бокштейн. М.: Наука, 1984. 208 с.
4. **Чередниченко, В. С.** Материаловедение / В. С. Чередниченко. М.: Омега-Л. 2008. 752 с.

#### REFERENCES

1. **Spektor A. G., Zel'bert V. M., Kiseleva S. A.** *Struktura i svojstva podshipnikovyh stalej* [Structure and properties of bearing steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980, 264 p.
2. **Voinov S. G., Shalimov A. G.** *Sharikopodshipnikovaja stal'* [Ball bearing steel]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1962, 480 p.
3. **Bokshtejn B. S.** *Atomy bluzhdajut po kristallu* [Atoms wander through the crystal]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 208 p.
4. **Cherednichenko V. S.** *Materialovedenie* [Materials Science]. Moscow, Omega-L Publ., 2008, 752 p.