

УДК 621.785

д.т.н. Жижкина Н. А.
(ГОУ ЛНР «ЛНАУ», г. Луганск, ЛНР, litjo_snu@mail.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАССИВНЫХ ВАЛКОВ

Работа посвящена разработке технологии термической обработки массивных валков в газовых камерных печах с выдвижным подом. Установлена неравномерность прогрева валков, вызвавшая повышение неоднородности в уровне их свойств. В работе предложены реконструкция горелок в печи и корректирование режима термической обработки. В результате снижения твёрдости и внутренних напряжений на 5–10 % их неравномерность вдоль изделия снизилась в 2 раза.

Ключевые слова: валок, газовая термическая печь с выдвижным подом, равномерность прогрева, свойства, термическая обработка.

Постановка проблемы, обоснование её актуальности. Ужесточение требований к качеству современной металлопродукции обуславливает увеличение интенсивности работы металлургического оборудования. Анализ условий работы металлургического оборудования [1] показал, что его элементы подвержены значительным знакопеременным силовым нагрузкам, воздействию высокой температуры, переменному нагреву и охлаждению, ударно-абразивному износу и влиянию агрессивных коррозионных сред. В результате требования к эксплуатационным свойствам элементов металлургического оборудования противоречивы и зачастую отличаются от характеристик материалов, из которых их изготавливают. Вот почему важнейшим и актуальным направлением в модернизации металлургического оборудования являются работы, касающиеся разработки новых материалов для изготовления его элементов.

Анализ последних исследований и публикаций по данной проблеме, вскрытие их недостатков и противоречий. Известно [2], что свойства материала зависят как от сил межатомного взаимодействия его химических компонентов, так и от наличия в нём структурных несовершенств: точечных, двумерных, трёхмерных. В связи с этим при приготовлении материала, когда возможно одновременно воздействовать на

размер первичных зёрен, морфологию металлической основы, упрочняющих фаз и неметаллических включений, является эффективным методом воздействия на формирование необходимого уровня механических и специальных свойств изделия. Такое воздействие включает процессы легирования, модифицирования и рафинирования, технология которых определяется составом и состоянием базового расплава.

В результате исследований влияния легирующих элементов на структуру и свойства материалов разработаны специальные чугуны и стали для элементов металлургического оборудования. Показано, что необходимый комплекс механических и эксплуатационных свойств обеспечивает дополнительное их легирование хромом, никелем, молибденом, ниобием, ванадием, медью и другими элементами [3].

Вместе с тем в результате структурных превращений, происходящих в сложнелегированных материалах в процессе формирования изделий, образуются напряжения, неоднородно распределённые в их объёмах. Вследствие этого общий уровень напряжений повышается, что оказывает отрицательное влияние на целостность и работоспособность изделия в целом [4].

Известно [5], что существуют три пути снижения уровня внутренних напряжений в теле изделия:

– медленное охлаждение изделия в процессе его изготовления, что позволяет получить необходимый уровень свойств и одновременно предотвратить наложение дополнительных напряжений в его теле. Однако такой процесс трудно контролировать;

– естественное старение. Установлено, что с течением времени происходит снижение общего уровня напряжений за счёт их перераспределения в теле изделия. Но естественное старение — длительный процесс, а его эффективность составляет только 20–30 %, чего недостаточно для изделий из сложнолегированных сплавов;

– термическая обработка, позволяющая регулировать уровень свойств и внутренних напряжений в изделии в зависимости от его назначения и исходной структуры. Такая обработка является наиболее действенным способом не только в снижении уровня напряжений в изделии, но и стабилизации его структуры и свойств.

Определение нерешённых ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Для повышения свойств и снижения общего уровня внутренних напряжений в изделиях из различных сложнолегированных сплавов разработаны режимы и параметры термической обработки. Для снижения уровня внутренних напряжений в изделии при сохранении уровня механических свойств (твёрдости, прочности) предложены режимы термоциклической обработки, представляющие комбинации отжигов до 773–973 К. Такие режимы термообработки способствуют снижению уровня внутренних напряжений до 70 % и стабилизации структуры сложнолегированных материалов [5]. Для повышения механических свойств изделий из сложнолегированных материалов в работах [5–7] предложены технологии химико- и радиационно-термических обработок, нормализации с отпуском, улучшения, изотермической закалки.

Вместе с тем результаты собственных исследований [5] показывают, что параметры термической обработки зависят не только от исходной структуры и назначения изделия, но и от его размеров и массы. Именно по-

следние показатели определяют равномерность прогрева изделия по объёму, а следовательно, характер структурных изменений.

В связи с этим возникла необходимость в проведении дополнительных исследований равномерности прогрева изделий для металлургического оборудования.

Формулирование цели, объекта, предмета и задач исследований. Одним из ответственных элементов металлургического оборудования является прокатный инструмент, или валок, масса которого достигает 20 тонн. Для удовлетворения требований по износостойкости и прочности его изготавливают из разнородных сложнолегированных материалов, что вызывает формирование структурных неоднородностей, а следовательно, повышение уровня напряжений в нём. Для устранения такого эффекта валки подвергают термической обработке, наиболее эффективным агрегатом для осуществления которой является газовая камерная печь с выдвижным подом [5].

В связи с этим целью настоящей работы явилась разработка технологии термической обработки массивных валков в газовых камерных печах с выдвижным подом.

Объект исследования — технологический процесс термической обработки массивных валков в газовой камерной печи с выдвижным подом.

Предмет исследования — закономерности термической обработки массивных валков из сложнолегированных материалов в газовой камерной печи с выдвижным подом.

Задачи исследования:

– оценка равномерности прогрева по объёму валков в процессе термической обработки в принятом режиме;

– определение влияния неравномерности прогрева валков на уровень их свойств;

– выявление способов повышения эффективности работы газовой камерной печи с выдвижным подом в процессе термической обработки массивных валков.

Описание и обоснование принятой методики исследований. Исследование термической обработки массивных валков

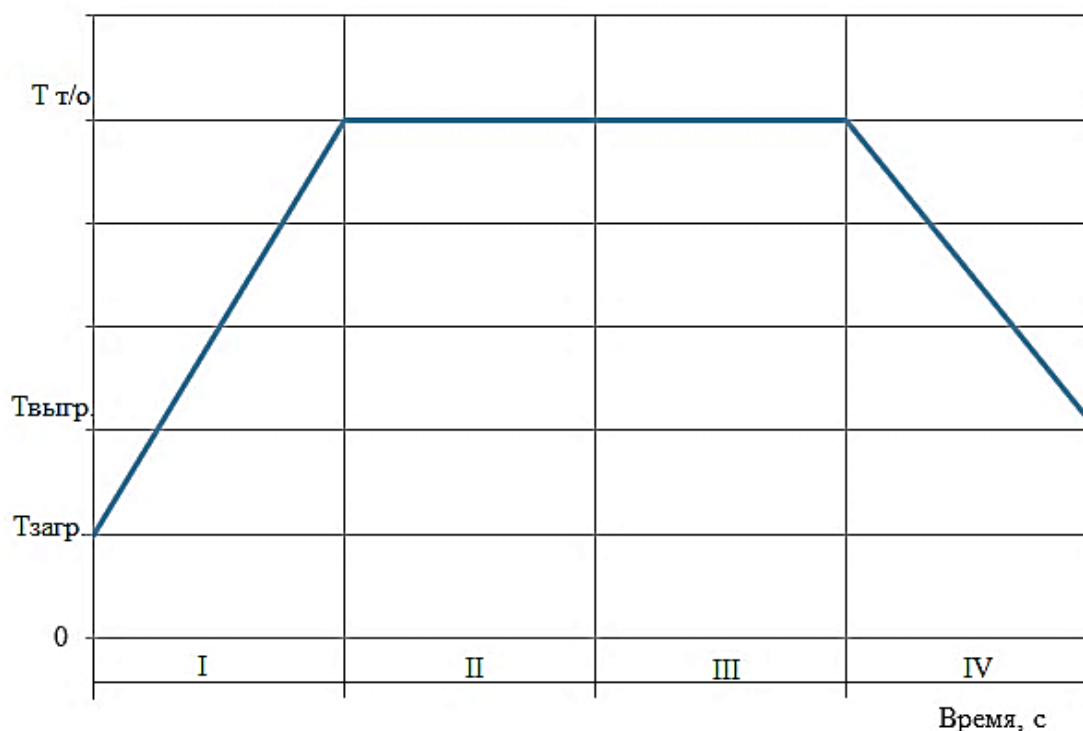
проводили в промышленных газовых камерных печах с выдвижным подом. Температуру термической обработки выбрали согласно разработкам, представленным в работе [8] для валка в зависимости от его исходной структуры и назначения. Скорость нагрева составляла 291–298 К/ч, а охлаждения — 275–293 К/ч. Продолжительность выдержки при необходимой температуре нагрева выбирали из расчёта 1 ч на 25 мм сечения валка (рис. 1).

Такие параметры термической обработки основывались на теоретических расчётах изменения температурного поля и напряжений, а также возможной диффузии легирующих элементов при нагреве валков [5]. Превыше-

ние названных пределов скорости приводит к неравномерному нагреву (охлаждению) отличающихся по сечению шеек и бочки массивного валка и формированию значительного градиента температур внутри него. Это вызывает в массивном валке изменяющиеся во времени и по его объёму термические напряжения, которые, суммируясь с довольно высокими внутренними напряжениями, создают опасность возникновения трещин в изделии или его разрушение.

Для выравнивания температур по объёму валка предложено проведение термической обработки, а также разработаны дополнительные технологические остановки в его режиме.

Температура



I — нагрев массивных валков в печи до необходимой температуры термической обработки;

II — выравнивание температуры вдоль массивных валков;

III — прогрев массивных валков по их сечению;

IV — медленное их охлаждение до температуры выгрузки из печи

Рисунок 1 Принципиальная схема режима термической обработки массивных валков из сложнолегированных материалов

Изложение основного материала теоретических и экспериментальных исследований с обоснованием достоверности полученных научных результатов. Для исследования равномерности прогрева по объёму массивных валков из сложнoleгированных материалов в процессе термической обработки по разработанному режиму (см. рис. 1) установили контрольные датчики температуры в рабочем пространстве печи и непосредственно на исследуемых изделиях.

Расположение исследуемых валков в печи осуществляли так, чтобы факел не омывал непосредственно их тела. Нагрев исследуемых валков осуществляли только посредством циркуляции горячих газов в рабочем пространстве печи. Такое распо-

ложение исследуемых валков в печи должно было обеспечить равномерность процесса их прогрева как по поверхности, так и по сечению [8].

В результате исследования получено, что режим термической обработки массивных валков в газовой камерной печи с выдвижным подом соответствует заданному (рис. 2).

Выявлено, что исследуемые валки характеризовались меньшими скоростями нагрева по сравнению с печью. Это можно объяснить разницей в начальных температурах (в среднем 323 К). Показано, что выравнивание температуры печи и исследуемых валков происходило только на этапе выдержки при необходимой температуре нагрева.

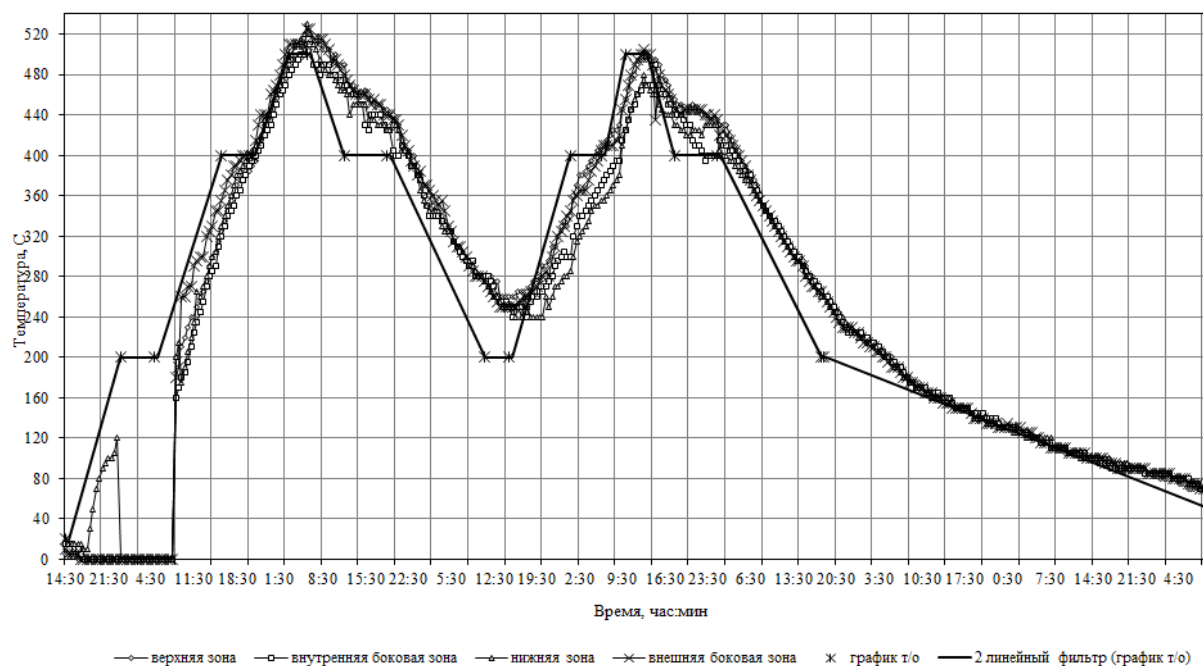


Рисунок 2 Изменение температуры нагрева-охлаждения поверхности бочки исследуемого валка, наиболее удаленного от заслонки печи

Установлено, что наиболее близкие значения температуры к заданному режиму термической обработки показали датчики, установленные на валке, наиболее удаленном от заслонки печи. Анализ термической обработки этого валка в зонах (см. рис. 2), различно расположенных

относительно его диаметра, позволил установить неравномерность процесса нагрева. При этом в процессе первого цикла термической обработки температуры нагрева верхней зоны этого исследуемого валка, обращенной к своду печи, и его внешней боковой зоны, обращенной к го-

релкам, превысили в среднем на 313 К температуры нагрева двух других зон исследуемого валка: внутренней боковой, обращённой к центру печи, и нижней, обращённой к поду.

В связи с тем, что была выявлена неравномерность нагрева валков, по-разному расположенных в рабочем пространстве печи, а также вдоль их поверхности, интерес представляли исследования влияния неравномерности нагрева исследуемых валков на уровень их свойств и внутренних напряжений.

Исследования показали, что на обоих валках была уменьшена неравномерность в распределении внутренних напряжений вдоль их поверхности. При этом уровень внутренних напряжений, оценённый методом измерения коэрцитивной силы [9], у валка, расположенного у заслонки печи, снизился в среднем на 6,1 %, а у валка, наиболее удалённого от заслонки печи, — на 15,6 %.

Результаты исследований изменения уровня внутренних напряжений по диаметру валков показали незначительное повышение неравномерности их уровня на 1,4 % у валка, расположенного у заслонки печи. В валке, наиболее удалённом от заслонки печи, неравномерность уровня внутренних напряжений по его диаметру снизилась на 2,6 %.

В результате неравномерного нагрева выявлено незначительное повышение неоднородности твёрдости вдоль поверхности исследуемых валков.

В результате исследований установлено, что неравномерность прогрева исследуемых валков в печи превысила (более чем в 5 раз) допустимые значения температурной неоднородности, предусмотренной для газовых камерных печей с выдвижным подом. В результате произошло нарушение движения греющих газов внутри печи, увеличение подсосов холодного воздуха, что способствовало повышению неравномерности нагрева массивных валков из сложнолегированных материалов.

Повышение равномерности прогрева рабочего пространства газовой камерной

печи с выдвижным подом, а следовательно, и термообрабатываемых массивных валков возможно при условии интенсивной циркуляции греющих газов вокруг них, получения греющей среды с равномерным полем температур, уменьшения тепловой инерции футеровки печи.

С учётом вышеизложенного были внесены коррективы в конструкцию газовой камерной печи с выдвижным подом (её горелок), а также в режимы термической обработки: увеличено время выдержки на каждой ступени термической обработки, что обеспечило равномерность нагрева и охлаждения массивных валков. Как результат, термообработанные массивные валки из сложнолегированных материалов характеризовались более низким уровнем твёрдости и внутренних напряжений (на 5–10 %). При этом разброс их значений вдоль валка снизился в 2 раза.

Выводы о научной новизне и практической ценности результатов, направление дальнейших исследований. Впервые освоена технология и оборудование термической обработки массивных валков из сложнолегированных материалов в газовых камерных печах с выдвижным подом. В результате исследования равномерности прогрева разных зон массивных валков, различно расположенных в пространстве печи, установили, что в зависимости от положения валка температура в различных зонах его объёма изменялась в пределах до 323 К. Это вызвало повышение неоднородности твёрдости вдоль валка.

Для устранения неравномерности прогрева валка в процессе термической обработки проведена реконструкция горелок и внесены коррективы в её режим: введены дополнительные выдержки при нагреве и охлаждении. В результате при снижении твёрдости и внутренних напряжений на 5–10 % их неравномерность вдоль термообработанного массивного валка снизилась в 2 раза по сравнению с литым состоянием, что повысило его эксплуатационную стойкость на 20 %.

Вместе с тем разработка новых типов валков путём применения новых химических составов материалов для их изготовления обуславливает изменения в технологии термической обработки. Поэтому работа в этом направлении продолжается.

Библиографический список

1. Budagyants, N. A. High-wear-resistant cast iron for rolls of hot rolling [Text] / N. A. Budagyants, N. A. Zhizhkina, D. A. Sirota, V. I. Kondratenko, V. P. Saushkin // Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue. — Beijing : Hunan University Press, 2000. — P. 236–239.
2. Жижкина, Н. А. Методы совершенствования качества прокатных валков [Текст] / Н. А. Жижкина, Н. А. Будагьянц, Ю. И. Гутько // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2008. — № 6, ч. 1. — С. 57–61.
3. Пат. 23995 Україна, МПК С 22 С 38/00. Зносостійкий сплав для прокатних валків [Текст] / Н. М. Можарова, Т. С. Скобло, М. А. Будаг'яни, Н. О. Жижкіна та ін. ; заявник та патентовласник Можарова Наталія Олександрівна. — № u200702048 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
4. Будагьянц, Н. А. Исследование напряжённого состояния чугуновых биметаллических валков для станков горячей прокатки [Текст] / Н. А. Будагьянц, Н. А. Жижкина // Сучасні проблеми металургії : матеріали наук.-практ. конф. — Дніпропетровськ : Системні технології, 2001. — С. 367–373.
5. Жижкина, Н. А. Технологические основы повышения качества листопрокатных валков [Текст] : монография / Н. А. Жижкина. — Брянск : БГТУ, 2015. — 180 с.
6. Шляхов, С. М. Напряжённо-деформированное состояние валов после цементации [Текст] / С. М. Шляхов, И. А. Казаковцев // Аэрокосмические технологии : труды междунар. науч.-техн. конф. — Воронеж, 2006. — С. 360–364.
7. Скобло, Т. С. Повышение эксплуатационной стойкости роликов валковой арматуры из чугунов упрочнением радиационно-термической обработкой [Текст] / Т. С. Скобло, Н. М. Можарова // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов (ОТТОМ-7) : сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. — Х., 2006. — Разд. 2. — С. 69–73.
8. Жижкина, Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем [Текст] : монография / Н. А. Жижкина. — Луганск : Ноулидж, 2011. — 167 с.
9. Zhizhkina, N. The development of non-destructive quality control of massive castings [Text] / N. Zhizhkina, S. Kuzovov // Metallurgical and Mining Industry. — 2016. — № 9. — P. 28–33.

© Жижкина Н. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. материаловедения ЛНУ им. В. Даля Рябичевой Л. А.

Статья поступила в редакцию 30.09.19.

д.т.н. Жижкіна Н. О. (ДОЗ ЛНР «ЛНАУ», м. Луганськ, ЛНР)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАСИВНИХ ВАЛКІВ

Роботу присвячено розробленню технології термічного оброблення масивних валків в газових камерних печах з висувним подом. Встановлено нерівномірність прогріву валків, що сприяло підвищенню неоднорідності в рівні їх властивостей. В роботі запропоновано проведення реконструкції горілок в печі та корегування режиму термічного оброблення. В результаті зниження твердості та внутрішніх напружень на 5–10 % їх нерівномірність вздовж виробу знизилась у 2 рази.

Ключові слова: валок, властивості, газова термічна піч з висувним подом, рівномірність прогріву, термічне оброблення.

Doctor of Technical Science Zhyzhkina N. A. (SEI LPR “LNAU”, Lugansk, LPR, litjo_snu@mail.ru)
IMPROVEMENT OF HEAT TREATMENT TECHNOLOGY OF MASSIVE ROLLS

The paper focuses on the development of heat treatment of massive rolls in gas chamber bogie-hearth furnaces. The non-uniformity of roll heating was determined, which caused increasing of inhomogeneity in the level of their properties. The paper proposes the reconstruction of flares in the furnace and the adjustment of the heat treatment mode. Following the weakening of the property level and internal stresses by 5–10 %, their unevenness along the product decreased by 2 times.

Key words: roll, gas-fired bogie-hearth furnace, uniformity of heating, properties, heat treatment.