

УДК 621.74:621.78

Иванова Л. Х., Колотило Е. В., Калашникова А. Ю., Захарова Т. В.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В процессе работы прокатные валки подвержены различным механическим и тепловым воздействиям со стороны прокатного стана и прокатываемого металла. Большое влияние на их стойкость оказывают условия эксплуатации (химический состав и температура прокатываемого металла, режим обжарки, эффективность и равномерность охлаждения валков и др.) и качество валков (физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики материала – износостойкость и термостойкость) [1–2].

В сложившейся практике вальцелитейного производства выбивку отбеленных валков из чугуна с шаровидным графитом производят через 20...25 ч в зависимости от размеров валков. Температура на поверхности бочек валков при этом составляет от 673 до 773 К. После полного охлаждения в валках существуют остаточные внутренние напряжения: сжимающие – в рабочем слое и растягивающие – в сердцевине валков.

Остаточные напряжения в чугунных валках в большей или меньшей степени сохраняются до ввода их в эксплуатацию. Эксплуатационные напряжения, возникающие при работе валков в условиях высоких температур, давлений и больших скоростей, в сочетании с остаточными внутренними литейными могут привести к перенапряжению чугуна и разрушению валка.

Проведенный анализ стойкости чугунных прокатных валков показал, что значительная часть (до 30 %) валков выходит из строя преждевременно по поломкам, что, очевидно, объясняется их низкой прочностью.

Улучшение физико-механических свойств и снижение величины остаточных внутренних напряжений и, следовательно, повышение стойкости прокатных валков может быть достигнуто их термической обработкой. За рубежом термическая обработка литых прокатных валков нашла широкое применение, при этом режимы термической обработки, как правило, не приводятся, однако отмечается, что такая операция при изготовлении валков приводит к существенному изменению структуры и физико-механических свойств [3].

Целью исследований была разработка режимов упрочняющей термической обработки валков из высокопрочных комплексно-модифицированных чугунов.

Обзор патентных источников показал, что высокотемпературную термическую обработку с горячего посада, приемлемую для вальцелитейного производства, предлагали авторы [4]. Сущность способа заключалась в извлечении чугунных отливок из литейных форм при температуре выше критической ($> A_{r1}$), их воздушной закалке с последующей выдержкой отливок в термической печи с температурой 473...873 К для выравнивания ее, отпуском и охлаждением в печи.

Проведенная нами по такому режиму термическая обработка отливок валков различных размеров исполнения ЛШ-57 (температура в печи была 823 К) показала, что по сравнению с валками в литом состоянии такая термическая обработка способствовала снижению остаточных напряжений на ≈ 68 % и повышению прочностных свойств, однако специальные свойства: износо- и термостойкость чугуна рабочего слоя валков оставались на прежнем уровне (табл. 1).

Затем опробовали способ термической обработки с горячего посада отливок прокатных валков из комплексно-модифицированных чугунов с термоциклированием рабочего слоя [5], который заключался в том, что:

– отливки прокатных валков извлекали из валковых форм при температуре рабочего слоя, соответствовавшей температуре начала эвтектоидного превращения. Этот параметр термической обработки обозначали – $\tau_{выб}$. Температуры начала и конца эвтектоидного превращения материала валков приведены в табл. 2;

– затем производили подстуживание отливок прокатных валков на спокойном воздухе до температуры на 10...20К ниже температуры конца эвтектоидного превращения материала валка (Ag_1^k) и переносили их в термическую печь с температурой T_n ;

– далее производили выдержку для нагрева рабочего слоя отливки валка до температуры на 10...20 К выше температуры начала эвтектоидного превращения материала валка (Ac_1^H), охлаждение в печи до температуры 813...833 К, выдержку для выравнивания температуры по сечению отливки валка τ_{60} и окончательное охлаждение в печи со скоростью 25 рад/ч.

Таблица 1

Обобщенные данные о свойствах опытных валков

| Состояние валков | Диаметр валков, м | Свойства | | | | | Релаксация σ_τ , % |
|---------------------------------|-------------------|---------------|--------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | твёрдость HSD | σ_e^p , МПа | $\sigma_e^{изг}$, МПа | износ, мг/см ² | m , мм/см ² | |
| литое | 0,35 | 60,0 | 380 | 480 | 0,06 | 19,0 | – |
| | 0,43 | 59,0 | 360 | 480 | 0,07 | 19,0 | – |
| | 0,73 | 59,0 | 360 | 470 | 0,07 | 19,5 | – |
| Термообработанное по режиму [1] | 0,35 | 58,0 | 380 | 510 | 0,06 | 18,5 | 68,0 |
| | 0,43 | 57,0 | 390 | 510 | 0,07 | 18,0 | 68,0 |
| | 0,73 | 57,0 | 380 | 500 | 0,07 | 19,0 | 65,5 |
| термообработанное по режиму [2] | 0,35 | 60,0 | 440 | 590 | 0,04 | 15,5 | 73,5 |
| | 0,43 | 59,0 | 460 | 590 | 0,04 | 15,0 | 70,0 |
| | 0,73 | 59,5 | 440 | 580 | 0,04 | 15,0 | 72,0 |

Таблица 2

Данные определения температур эвтектоидного превращения

| Диаметр бочки валка, м | Скорость охлаждения (град/ч) на глубине, (мм) | | Температура эвтектоидного превращения (К) материала валков на глубине, (мм) | | | |
|------------------------|---|----|---|-------|--------|-------|
| | | | 5 | | 25 | |
| | 5 | 25 | начало | конец | начало | конец |
| 0,73 | 50 | 40 | 988 | 959 | 1004 | 968 |
| 0,46 | 60 | 52 | 983 | 953 | 993 | 963 |
| 0,35 | 68 | 55 | 979 | 953 | 991 | 961 |

Реализацию этого способа термической обработки производили на опытно-промышленной партии прокатных валков с разными диаметрами бочек 0,35...0,73 м из комплексно-модифицированного чугуна химического состава, мас. %: С 3,0...3,2, Si 0,9...1,0, Mn 0,5...0,8, P 0,10...0,15, S до 0,01, PЗМ 0,13...0,24, Fe – остальное. При этом после заливки расплава в валковые литейные формы и достижения температуры начала эвтектоидного превращения в рабочем слое валков Ac_1^H (температуру фиксировали датчиками температуры) производили выбивку отливок и передачу их к камерной печи с выдвижным подом. После установки датчиков температуры в полученные при литье отверстия в теле валков и подстуживания их поверхностных слоев до температуры на 10...20° ниже температуры конца эвтектоидного превращения Ag_1^k отливки на поду подавали в разогретую до различных температур (943...993 К) печь.

Для валков различных размеров параметр $\tau_{выб}$, перепад температуры по сечению бочек валков и температуру печи T_n , обеспечивавшую разогрев материала рабочего слоя за счет внутреннего тепла до температуры на 10...20° выше температуры начала эвтектоидного превращения определяли на серии экспериментов (табл. 3).

Таблица 3

Параметры термической обработки, определенные экспериментально

| Диаметр бочки валка d , м | Продолжительность выдержки $\tau_{выб}$, ч | Перепад температуры по сечению бочки, К | Температура печи T_n , К |
|-----------------------------|---|---|----------------------------|
| 0,35 | 1,15 | 90 | 993 |
| 0,43 | 1,66 | 150 | 973 |
| 0,73 | 3,00 | 325 | 943 |

После того, как отливки подали в разогретую печь производили их охлаждение в отключенной печи до температуры в рабочем слое 813...833 К, затем производили выдержку τ (мин) при этой температуре для выравнивания температуры по сечению бочек валков в течение 30...310 мин в зависимости от диаметра бочки валка и окончательное охлаждение с печью со скоростью 20...30 град/ч до температуры 373...423 К.

Проведенным комплексом экспериментов было установлено, что некоторые основные параметры такой термической обработки достаточно точно описывались следующими аналитическими зависимостями: $\tau_{выб} = 5d - 0,6$; $T_n = 1035 - 128d$; $\tau = 2153d - 1311d^2 - 563$.

Проведенные исследования физико-механических свойств чугуна рабочего слоя опытных валков до и после термической обработки показали следующее. За счет повторной аустенитизации при термоциклировании в рабочем слое исследуемого чугуна валков получали повышение износостойкости рабочего слоя в среднем на 54...73 %, прочностных свойств: $\sigma_{\epsilon}^{изз}$ на 23...25 и σ_{ϵ}^p на 16...28 %, а также снижение величины остаточных напряжений в валках на ≈ 73 %.

Для отливок прокатных валков из низколегированных высокопрочных чугунов был предложен режим высокотемпературной термической обработки с горячего посада с максимальным использованием внутреннего тепла отливки – циклический отжиг [6], сущность которого заключалась в следующем:

– отливки из валковой литейной формы извлекали после заливки формы через время, когда центральная часть отливки валка достигала температуры солидус (параметр $\tau_{сол}$);

– затем производили принудительную водо-воздушную закалку поверхности бочки валка до достижения температуры T_{δ} на 10...20 К ниже температуры конца эвтектоидного превращения (Ag_1^k). Принудительную водо-воздушную закалку производили с помощью вентиляторов модели СИОТ, обеспечивавшими расход смеси $3...4 \cdot 10^3$ м³/ч·м² и соответственно скорость охлаждения V_o^I в критическом интервале температур 20...30 град/мин. Далее следовала обязательная пауза или выдержка для разогрева рабочего слоя валка за счет внутреннего тепла (самоотпуск) до температуры на 10...20 К выше температуры начала эвтектоидного превращения (Ac_1^H). Количество циклов нагрев – охлаждение (параметр n) при таком отжиге зависело от размеров бочек отливок валков;

– при последнем цикле принудительное охлаждение проводили до температуры T_{nl} рабочего слоя 813...833 К, после чего отливку подавали в термическую печь, нагретую до такой же температуры, и производили выдержку для выравнивания температуры по сечению валка (параметр $\tau_{го}$);

– окончательное охлаждение осуществляли с печью со скоростью 20...30 град/ч, для предотвращения образования вторичных напряжений.

Основные параметры этой высокотемпературной обработки определяли экспериментально (табл. 4) на валках-представителях различных размеров из высокопрочных чугунов

следующих химических составов, мас. %: углерод 2,29...3,00, кремний 1,0...1,1, марганец 0,55...0,65, фосфор до 0,16, сера до 0,013, хром 0,10...0,15, никель 1,5...1,7, молибден 0,4...0,5, магний 0,01...0,02, РЗМ 0,08...0,10, железо остальное.

Таблица 4

Некоторые параметры термической обработки, определенные экспериментальным путем

| Диаметр бочки вала d , м | Параметр $\tau_{сол}$, Ч | Расход смеси для принудительного охлаждения рабочего слоя вала, $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ | Параметр n | Параметр τ_{60} , Ч |
|-------------------------------|---------------------------|--|--------------|--------------------------|
| 0,73 | 2,5 | $3...4\cdot 10^3$ | 7 | 4,5 |
| 0,45 | 1,3 | $3...4\cdot 10^3$ | 5 | 2,5 |
| 0,31 | 0,75 | $3...4\cdot 10^3$ | 3 | 2,0 |

Полученные экспериментальным путем величины основных параметров такой термической обработки достаточно точно можно выразить следующими аналитическими зависимостями: $\tau_{сол} = 4d - 0,5$; $n = 24d - 14d^2 - 3$; $\tau_{60} = 10d^2 - 4d + 2,2$.

Результаты сравнительных исследований свойств материала валков в литом состоянии и после термической обработки (табл.5) по вышеприведенному режиму показали, что износостойкость чугунов рабочего слоя увеличивалась в среднем в 2,25, термостойкость в 2,33 раза, предел прочности $\sigma_{\sigma}^{изг}$ – на 16 %, предел прочности σ_{σ}^p – на 40 %, а величина остаточных напряжений σ_{τ} снижалась на ≈ 78 %.

Таблица 5

Свойства материала опытных валков

| Состояние вала-представителя | Свойства чугуна рабочего слоя вала-представителя | | | | | |
|------------------------------|--|---------------------------|-----|--------------------|----------------------------------|---------------------|
| | $\sigma_{\sigma}^{изг}$, МПа | σ_{σ}^p , МПа | HSD | Износостойкость, г | Термостойкость, см^{-1} | σ_{τ} , % |
| Литое | 490 | 350 | 58 | 0,070 | 0,42 | – |
| Термообработанное | 570 | 490 | 62 | 0,031 | 0,18 | 78 |

ВЫВОДЫ

Разработаны режимы упрочняющей термической обработки прокатных валков из комплексно-модифицированных чугунов для условий вальцелитейного цеха – с горячего посада, в результате которых происходило значительное повышение физико-механических свойств чугуна и снижение остаточных напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика и прочность прокатного оборудования / Ф. К. Иванченко [и др.]. – М. : Металлургия, 1970. – 488 с.
2. Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования / М. А. Тылкин. – М. : Металлургия, 1971. – 608 с.
3. Могилев В. К. Повышение стойкости изложниц и прокатных валков / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М., 1986. – 116 с.
4. Пат. 1178879 ФРГ, МКИ 18с 5.02 (C21d). Способ термообработки крупных отливок из серого чугуна / К. Arold (ФРГ); Rhein Stahl Henschel Akt. – Ges. – Заявл. 07.12.54; опубл. 26.05.66. – 3 с.
5. А. с. 1119347 СССР, МКИ C21C5/00, 9/38. Способ термической обработки отливок прокатных валков / Е. В. Колотило, Л. Х. Иванова, И. И. Ануфриев, Ж. И. Безбах, О. Ю. Масич-Стукало (СССР). – № 3571631/22-02; заявл. 21.12.82; опубл. 15.06.84. – 9 с.
6. А. с. 1225250 СССР, МКИ C 21 C 5/00, 9/38. Способ термической обработки отливок прокатных валков / Е. В. Колотило, Л. Х. Иванова, Л. С. Недосекин, Ю. Я. Абраменков, О. Ю. Масич-Стукало (СССР). – № 3711829/22-02; заявл. 11.03.84; опубл. 15.12.85. – 4 с.

Статья поступила в редакцию 14.10.2011 г.