

УДК 621.785.5:621.771.07

Дан Л. А., Трофимова Л. А., Степин В. А.

РЕЖИМЫ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ЧУГУНА ЛИТЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В связи с резким уменьшением объёма выпускаемой продукции трубо- и сортопрокатными цехами металлургических предприятий уменьшилась потребность в сменно-запасных частях, в том числе и прокатного инструмента.

Как следствие становятся нерациональными и экономически не обоснованными технологии ориентированные на массовый выпуск сменно-запасных частей и инструментов прокатных станов. Таким образом, становится актуальным вопрос разработки альтернативных технологий, удовлетворяющих, как экономическим, так и технологическим требованиям сегодняшнего дня.

Традиционно прокатные валки и другой прокатный инструмент отливаются из чугуна с использованием металлических форм – кокилей. При этом структура чугуна рабочих слоёв отливок представляет собой естественный композит – белый чугун. Обеспечивается хорошая стойкость валков.

Кокили – достаточно дорогая оснастка. Ее использование оправдано только в условиях массового производства.

Альтернативной технологией обладающей большим числом экономических преимуществ может быть признана отливка данных деталей в разовые песчано-глинистые формы с последующим их термоупрочнением [1, 2]. Структуры чугуна, сформировавшиеся в условиях близких к равновесным, могут быть трансформированы в структуры, обладающие высокой износостойкостью путём термической обработки, которая наряду с легированием и модифицированием позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики чугуна.

Целью настоящей работы является разработка режима термической обработки чугуна валков ТПХН – 51, отлитых в песчано-глинистую форму. При этом ставилась задача получения твердости в рамках требований ТУ У 14-2-1188-97: 51–61 HSh (что эквивалентно 36–44 HRC).

Чугун опытных плавок содержал, % мас.: С – 2,8; Si – 1,1; Mn – 0,55; Cr – 0,91; Ni – 1,59; Cu – 0,28; Mo – 0,6; P – 0,22; S – 0,105. Металл выплавляли в индукционной печи ёмкостью 400 кг с кислой футеровкой. Опытные отливки получали в сухих песчано-глинистых формах.

Из опытных отливок вырезали образцы диаметром $\varnothing 20$ и длиной 20 мм. Образцы подвергали закалке на масло и отпуску. Температура закалки для одной группы образцов была 780 °С; для другой – 930 °С. Температура отпуска была 250, 350, 450, 550, 650 °С.

Твердость измеряли на твердомере ТК Роквелла, отсчет по шкале С. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «Неофот – 21».

Для проведения опытов по измерению износа была спроектирована и изготовлена специальная установка. Образец помещали в цанговый зажим установки. Зажим вместе с образцом вращался с частотой 800 об/мин и прижимался к поверхности закалённой гладкой плиты из стали У8 (62 HRC) с усилием $P = 2$ кг. Время опыта – 5 минут.

В структуре чугуна (рис. 1, а) в исходном состоянии после литья наблюдали пластинчатый графит; перлитная металлическая матрица содержала около 15 % цементита. Твердость образцов в исходном состоянии была 29–30 HRC.

При нагреве под закалку до 780 °С цементит, имеющийся в чугунах, не растворяется, поэтому после закалки с этой температуры в структуре наблюдается мартенсит закалки, графит и цементит в количестве, близком литому состоянию (ок. 10 %) (рис. 1, б). Твердость чугуна 53 HRC.

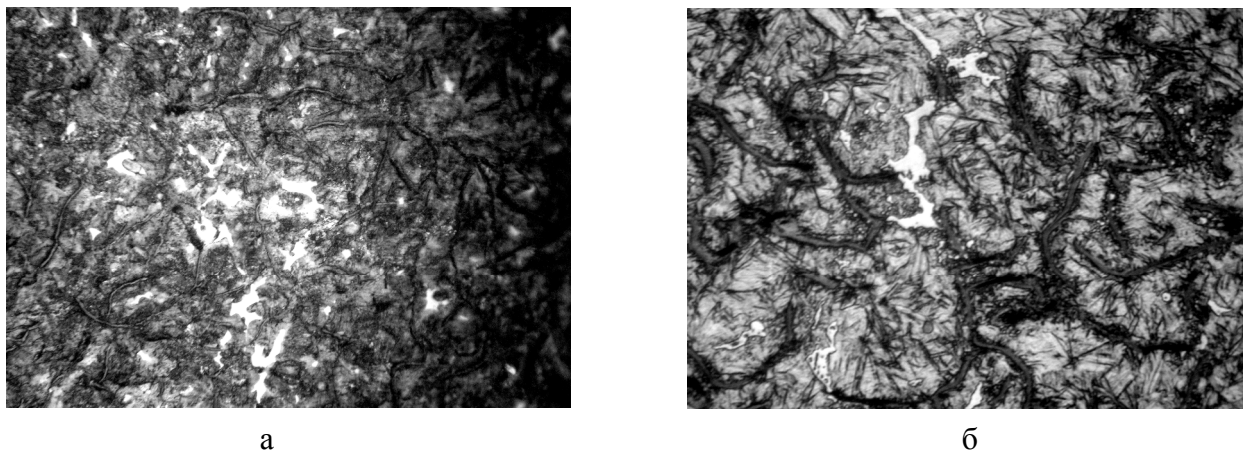


Рис. 1. Микроструктура чугуна в литом состоянии (а) и после закалки с 780 °С (б), $\times 500$

При отпуске 250 °С (рис. 2, а) происходит снятие закалочных напряжений и формирование в структуре мартенсита отпусков. Твердость уменьшается до 46 HRC. Повышение температуры отпуска до 350 °С практически не изменяет структуру чугуна, при этом без изменения остается твердость и величина относительного износа. Температура отпуска 450 °С обеспечивает начало образования структур перлитного типа – вначале троостита (рис. 2, б), а затем, при отпуске 550 °С и 650 °С, соответственно, более грубых сорбита и перлита (рис. 2, в). Уменьшается твердость (соответственно, до 42, 36 и 32 HRC), а относительный износ увеличивается почти в 10 раз (рис. 3).

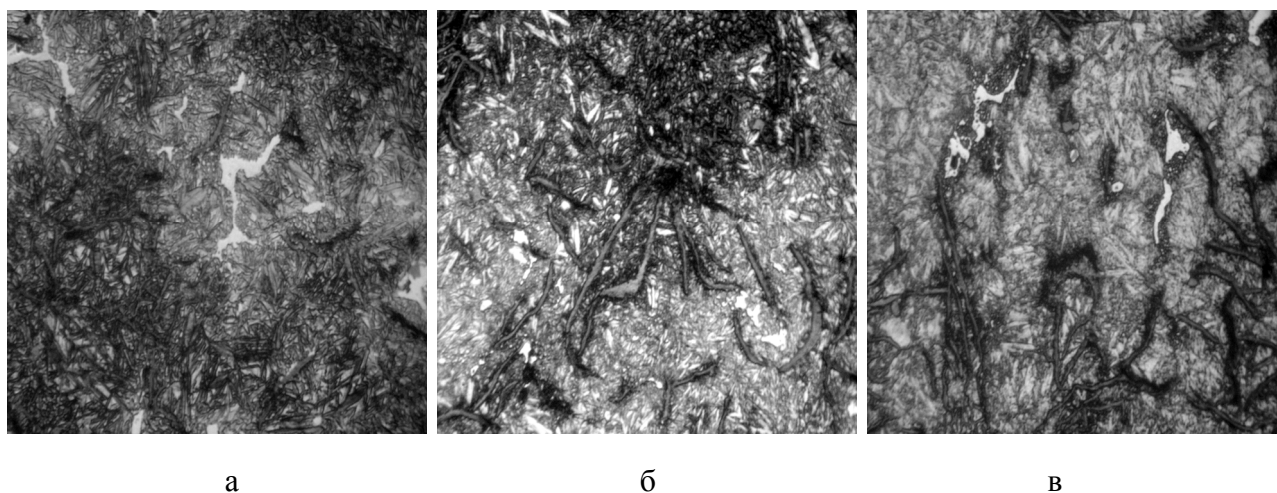


Рис. 2. Микроструктура чугуна, закаленного с 780 °С, после отпуска при 250 °С (а), при 450 °С (б), 550 °С (в), $\times 500$

При закалке с 930 °С в структуре наряду с мартенситом наблюдается небольшое (10–12 %) количество остаточного аустенита, а также графит (рис. 4, а).

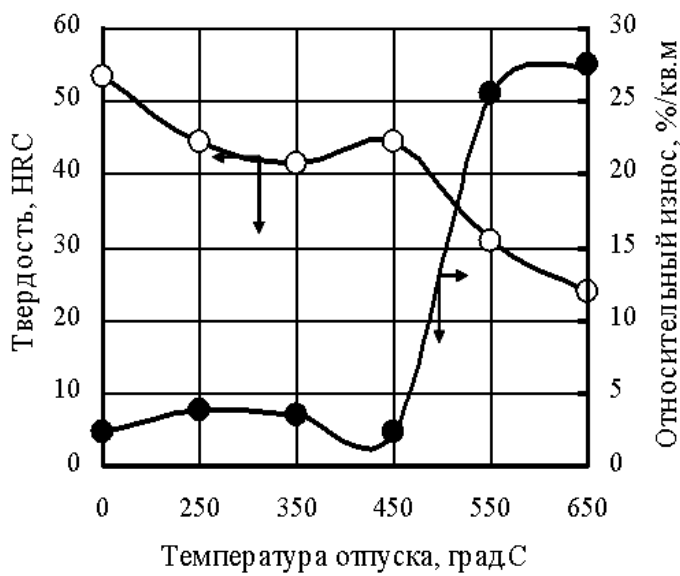


Рис. 3. Влияние температуры отпуска на твердость и величину относительного износа образцов, закаленных с 780 °С:

o – твердость; • – относительный износ

При отпуске 250 °С формируется мартенсит отпуска, сохраняются в прежнем количестве остаточный аустенит, графит (рис. 4, б). Повышение температуры отпуска до 350 °С практически не изменяет характер микроструктуры чугуна. При этом на фоне небольшого снижения твердости с 45 до 42 HRC (рис. 5)

относительный износ остается без изменения. Начиная с температуры отпуска 450 °С (рис. 4, в), заметным становится процесс распада остаточного аустенита, идущий параллельно с образованием перлитоподобных структур. Первый процесс сопровождается повышением твердости, а второй – ее уменьшением. После отпуска при 450 °С преобладающим является процесс, приводящий к увеличению твердости и, как следствие, уменьшению относительного износа.

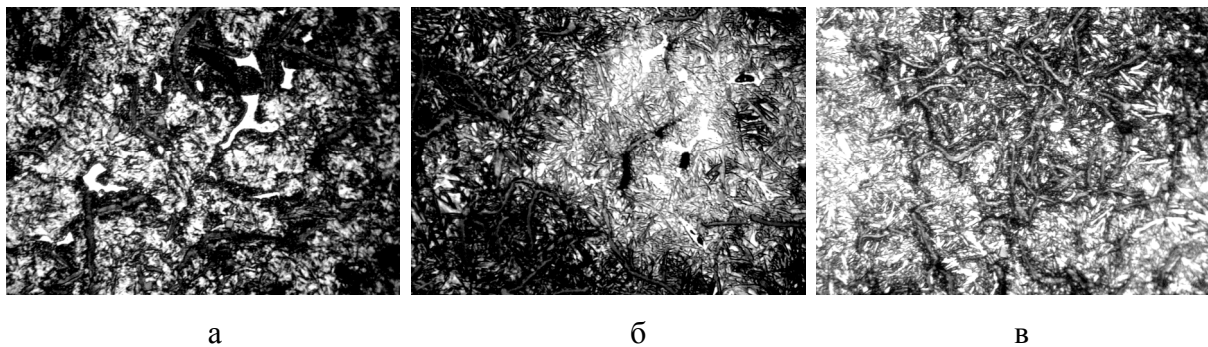


Рис. 4. Микроструктура чугуна, закаленного с 780 °С (а), после отпуска при 250 °С (б), при 450 °С (в), × 500

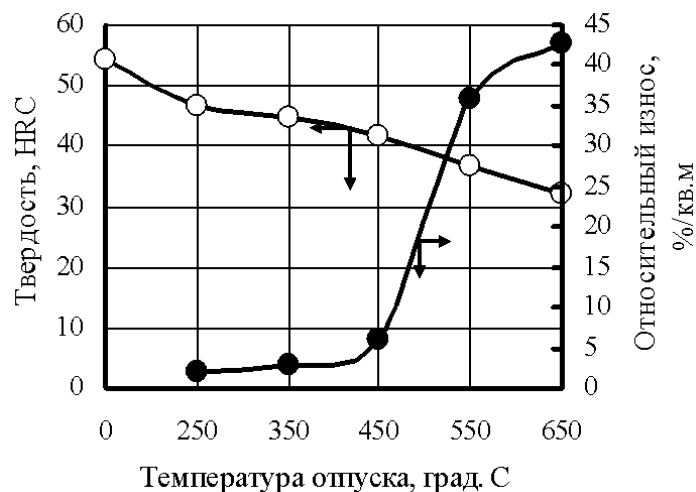


Рис. 5. Влияние температуры отпуска на твердость и величину относительного износа образцов, закаленных с 930 °С:

Дальнейшее увеличение температуры отпуска до 550 и 650 °С имеет своим результатом полный распад остаточного аустенита и образование сорбитной, а затем и перлитной матрицы чугуна. Процесс разупрочнения при этом преобладает над процессом упрочнения металла. Твердость образцов уменьшается с 44 до 25 HRC, а относительный износ увеличивается с 2,4 до 26,0 %/м² (рис. 5).

Математическая обработка кривых графиков 3 и 5 позволила получить полиномиальные уравнения различного порядка, с достаточной точностью описывающие зависимость твердости (HRC) и относительного износа (И, %/м²) закаленных образцов исследуемого чугуна от температуры отпуска (t, °С). Для образцов, закаленных с температуры нагрева 780 °С, уравнения имели вид:

$$HRC = -0,26t^3 + 2,72t^2 - 12,47t + 63,93;$$

$$И = -0,97t^4 + 46,69t^3 - 251,13t^2 + 567t - 453,02.$$

То же для образцов после закалки с 930 °С:

$$HRC = 0,54t^5 - 9,01t^4 + 54,66t^3 - 148,39t^2 + 171,9t - 16,4;$$

$$И = -0,97t^4 + 13,32t^3 - 60,59t^2 + 106,74t - 56,48.$$

Анализируя полученные результаты, необходимо иметь в виду, что целью работы было не получение максимальной твердости чугуна, а обеспечение высокой работоспособности изготовленных из него деталей – валков, при их «щадящем» воздействии на поверхность прокатываемых изделий. Что касается твердости чугуна, закаленного с нагрева 780 и 930 °С, то оптимальная его твердость (36–44 HRC, что эквивалентно 51–61 HSh) достигается в первом случае отпуском при температурах от 350 до 550 °С, во втором – от 250 до 500 °С. При этом минимальный износ наблюдается, соответственно, после отпуска 350–400 °С и 400–450 °С (см. рис. 3, 5).

Полученные в настоящей работе результаты хорошо согласуются с литературными данными [1, 3].

ВЫВОДЫ

Для получения высоких эксплуатационных свойств прокатных валков типа ТПХН-51, отлитых в песчаноглинистые формы, можно рекомендовать следующие режимы термоупрочнения: закалку с температуры 780 °С на масло с последующим отпуском при 350–400 °С; закалку с температуры 930 °С на масло с последующим отпуском при 400–450 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дан Л. А. Разработка нетрадиционной технологии изготовления прокатных валков из Cr–Ni–Mo ВЧШГ / Л. А. Дан, Л. А. Трофимова, Л. Н. Шварц // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту. – Маріуполь. – 2005. – Вып. № 15. – С.84–87.
2. Термическая обработка чугуна / И. Г. Неижко. – К. : Наукова думка, 1992. – 208 с.
3. Малинов Л. С. Получение в структуре сталей и чугунов метастабильного аустенита и реализация эффекта самозакалки при нагружении для использования внутренних резервов самих материалов – перспективное направление в ресурсосбережении / Л. С. Малинов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – ПГАС и А. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 22. – С. 88–93.