

Повышение абразивной износостойкости сталей

Д.М. Бердиев, Р.К. Ташматов

(Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент,
Узбекистан)

Исследуется абразивная износостойкость образцов из сталей Ст5Гпс, 35, 45, 65Г, У8. В качестве эталонного материала используются образцы технического железа. Для повышения абразивной износостойкости углеродистых и малолегированных сталей предлагается перед завершающей термической обработкой проводить предварительную - нормализацию с экстремальной температуры нагрева 1100°C . После повторной закалки и низкого отпуска износостойкость может возрасти от 20 до 50 %.

Ключевые слова: абразивная износостойкость, почвообрабатывающие машины, термическая обработка, высокая твердость, углеродистые и малолегированные стали, плотность дислокаций, незакрепленные абразивные частицы, предварительная подготовка структуры, твердорастворное упрочнение мартенсита, межцементитные расстояния.

Абразивный износ является одним из самых разрушительных видов. В условиях абразивного воздействия почвы и пыли работают все почвообрабатывающие машины.

Для изготовления деталей рабочих узлов почвообрабатывающих машин используют средне и высокоуглеродистые стали типа 40Г, 65Г, 70Г, Л53, Л65 и др., которые термически обрабатываются на высокую твердость. Даже в этом случае нет достаточных обоснований в правильности выбора материала и способа упрочнения [1]. Положение усугубляется на ремонтном производстве, когда из-за недостатка необходимых сталей, замена марок сталей приводит к непредсказуемым результатам в обеспечении износостойкости изделия.

В настоящей работе сделана попытка решить одновременно две задачи:

- повысить абразивную износостойкость сталей для деталей рабочих узлов почвообрабатывающих машин термической обработкой с введением операций предварительной подготовки структуры;
- установить эмпирические зависимости износостойкости сталей от параметров их структуры и на этой базе создать программу по вычислению необходимых материалов, способов упрочнения для обеспечения требуемого уровня износостойкости.

Объектами исследований были образцы средне и высокоуглеродистых сталей 45, 65Г, У8. Для получения сравнительных данных использовали образцы сталей 35, Ст5Гпс и технического железа. Техническое железо использовали как эталонный материал, а Ст5Гпс, как сталь, которую можно закалить на мартенсит при минимальным содержанием углерода ($C = 0.28\%$).

Предварительная термическая обработка может существенно влиять на свойства сталей после окончательной термической обработки [2]. В данном случае предварительная обработка заключалась в проведении нормализации с температур нагрева выше линии A_{C3} (или A_{C1}) + $30\div 50^{\circ}\text{C}$ до 1200°C .

Завершающая термическая обработка включала закалку и отпуск при 200⁰, 350⁰, 450⁰ и 600⁰С.

Параметры структуры определяли методами световой, электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. В частности состояние тонкой структуры оценивали плотностью дислокаций, определяемой по физической ширине рентгеновской линии интерференции (220) [3].

Лабораторные испытания на износ проводили при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы кварца на установке ПВ - 7 [4].

Результаты исследований показывают, что с ростом температуры нагрева при нормализации наблюдается рост аустенитного зерна, но состояние тонкой структуры меняется по экстремальной зависимости. Максимум плотности дислокаций в α - фазе наблюдается, если температура нагрева при нормализации была 1100⁰С (рис.1).

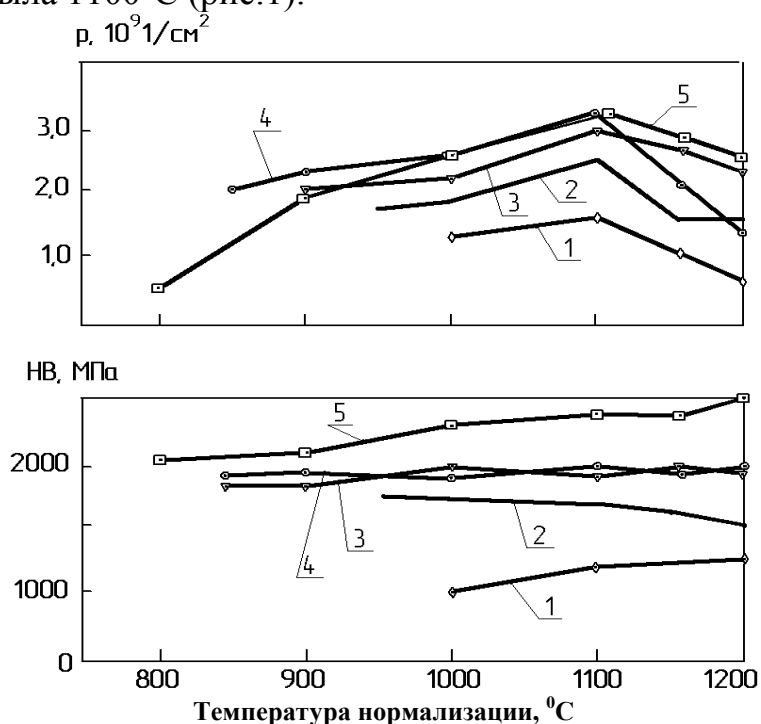


Рисунок 1 - Влияние температура нагрева при нормализации на уровень плотности дислокаций ρ и твердость углеродистых сталей. 1 - техническое железо, 2 - сталь, Ст5Гпс, 3 - сталь 35, 4 - сталь 45, 5 - сталь У8.

В предыдущих работах было установлено, что в районе температур нагрева 1100⁰С начинается растворение в аустените тугоплавких примесных фаз. Это в основном кислород и азотсодержащие фазы, начало растворения, которых характерно химической микронеоднородностью твердого раствора. В этом случае при γ - α превращении формируется повышенный уровень плотности дислокаций [2,5]. Нагрев до температуры 1200⁰С, во время проведения нормализации, способствует гомогенизации аустенита и при охлаждении, после γ - α превращения, плотность дислокаций получается ниже [2,5].

После завершающей термической обработки происходит измельчение аустенитного зерна, которое внутри каждой марки было примерно одинаковым;

однако разный уровень плотности дислокаций остается. Происходит наследование элементов исходного субмикростроения, так как положение экстремума плотности дислокаций сохраняется (рис.2). Это оказывало достаточно сильное влияние на абразивную износостойкость при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы (рис.3). Если предварительная нормализация была проведена с температуры нагрева 1100⁰С, то снижение величины износа было достаточно большим - от 20 до 50 % для сталей в низкоотпущенном состоянии. Такой же характер изменения величина износа сохраняется и после окончательного отпуска 350⁰, 450⁰, 600⁰С. Проведение закалки стали без отпуска может дополнительно увеличить износостойкость [6]. В наших опытах часть образцов из стали *Ст5Гпс* после завершающей закалки не подвергалась отпуску, а часть - непосредственно закаливалась с различных температур нагрева и также оставалась без отпуска. Из рис. 3 видно, что величина износа стали *Ст5Гпс* в состоянии закалки без отпуска заметно снижается (до 40%). Таким образом, предварительная подготовка структуры путем проведения нормализации с экстремальной температуры нагрева обеспечивает после завершающей термической обработки рост абразивной износостойкости до 50%. Закалка по экстремальным режимам без отпуска дополнительно увеличивает износостойкость.

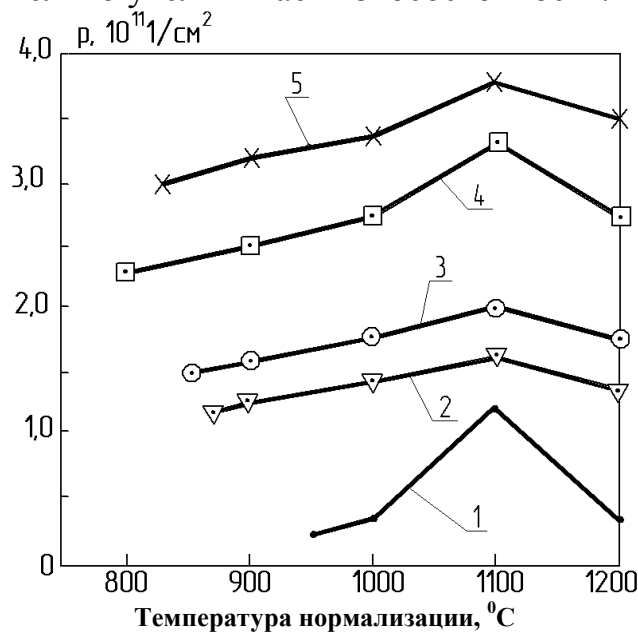


Рисунок 2 - Влияние температуры предварительной нормализации на плотность дислокаций ρ после повторной закалки с температуры нагрева $A_{C3} + 30 \div 50^{\circ}\text{C}$ (стали *Ст5Гпс*, 35, 45, 65Г) и $A_{C1} + 30 \div 50^{\circ}\text{C}$ (сталь У8) и отпуска 200 $^{\circ}\text{C}$.

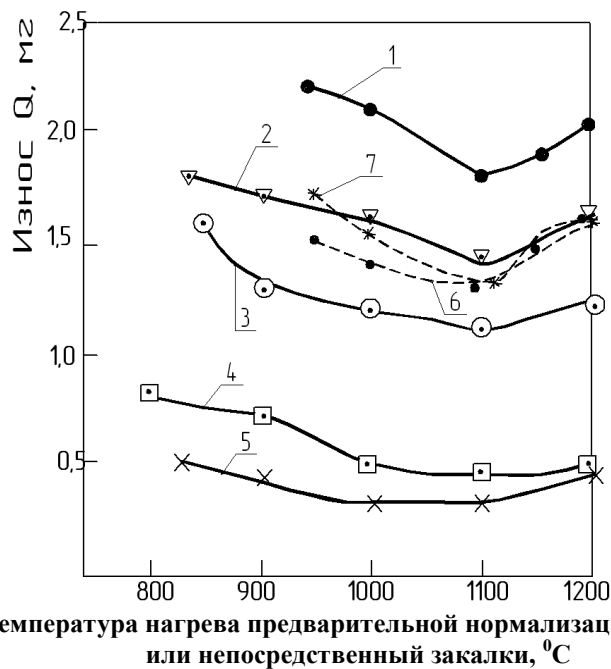


Рисунок 3 - Влияние температуры предварительной нормализации на величину износа после повторной закалки и отпуска 200⁰С. Стали: 1 - Ст5Гпс, 2 - 35, 3 - 45, 4 - У8, 5 - 65Г, 6,7 - Ст5Гпс без отпуска, где 7 непосредственная закалка с указанных температур. Стали: 1 - Ст5Гпс, 2 - 35, 3 -45, 4 - 65Г, 5 - У8.

Обоснованный выбор марки стали и способов ее упрочнения возможны, если имеются данные о влиянии структурных параметров сталей на их износостойкость.

Анализ результатов наших опытов показывает, что после закалки и отпуска 200⁰, 350⁰, 450⁰ и 600⁰С, существует линейная связь между величиной износа $Q = f\sqrt{\rho}$. Для каждой марки стали и каждой температуры отпуска эта связь своя. Для низкоотпущенных сталей ступеньки между прямыми показывают влияние твердорастворного упрочнения мартенсита углеродом. Поэтому величина износа закаленной и низкоотпущенной стали, может быть записана:

$$Q = Q_{0Cm5Гпс} - \alpha\Delta\sqrt{\rho} - a*(\Delta C)^B, \quad (1)$$

где - $Q_{0Cm5Гпс}$ - величина износа стали со структурой отпущенного мартенсита при минимальном (0,28 %) содержание углерода в стали;

- $\Delta\sqrt{\rho}$ - разница квадратных корней из плотности дислокаций исследуемой стали и стали Ст5Гпс после закалки с 950⁰С и низкого отпуска;

- ΔC - разница между содержанием углерода в исследуемой стали и стали Ст5Гпс;

- α, a, B – соответствующие коэффициенты и показатель степени.

Закаленные стали после отпуска при температурах 350⁰С и выше имеют структуры феррито - цементитной смеси и ступени между прямыми $Q = f\sqrt{\rho}$ относятся только к влиянию числа и размеров частиц цементита. Поэтому величина износа может быть представлена:

$$Q = Q_{0Fe} - \alpha\sqrt{\rho} - K\lambda^{-1} \quad (2)$$

где Q_{0Fe} – величина износа отожженного технического железа (эталон);

ρ - плотность дислокаций;

λ - среднее расстояние между частицами цементита в отпущенной стали;

α и K - коэффициенты, которые были переменными и зависели от температуры отпуска.

По экспериментальным данным были установлены возможные сочетания структурных параметров термически обработанных сталей и интервалы варьирования. Все эти данные и соотношения (1) и (2) были введены в программу современного компьютера. Алгоритм и программа расчетов по выбору необходимых материалов и технологий упрочнения рассчитаны на случай, когда запрашивается только одна величина - относительная износостойкость $E = Q_{0Fe} / Q$,

где Q_{0Fe} - величина износа эталона - отожженного технического железа при принятых условиях испытания;

Q - величина износа, которая получается из соотношений (1) и (2).

Первый этап расчетов сводится к вычислению межцементитных расстояний в сталях после закалки и отпуска выше 350°C по соотношению (2). Межцементитные расстояния зависят от температуры отпуска и содержания углерода в стали. Поэтому для расчета среднего диаметра цементитных частиц необходимо определить количество цементитной составляющей. По полученным данным по уравнению диффузии углерода в феррите можно найти температуру отпуска при известных значениях среднего диаметра цементитных частиц d и содержания углерода в стали [7] $T = -q / R \cdot \ln(d^2 / A \cdot 0.05C^{2/3})$, где q - теплота диффузии углерода в феррите; A - коэффициент; R - газовая постоянная

Второй этап расчетов связан с вычислением плотности дислокаций низкотпущенных сталей при различных содержаниях углерода при заданном уровне износа Q по соотношению (1).

В целях получения сравнительных результатов был исследован лемех германского производства, который имел наилучшую работоспособность. Химический анализ материала лемеха установил, что это сталь типа 40Г. Металлографические исследования выявили по режущей кромке структуру отпущенного мартенсита с твердостью HRC 50. Испытания на износ на установке ПВ - 7 показали, что относительная износостойкость такого материала $E = 4,68$.

Расчеты на современном компьютере по разработанной программе показали, что такой уровень могут обеспечить стали: 45 - после закалки и отпуска 200°C , У8 - после отпуска 350°C , Ст5Гнс - без отпуска. Если в процессе термической обработки ввести предварительную нормализацию с экстремальной температуры нагрева, то после завершающей закалки это могут быть: после отпуска 200°C - сталь 35, после отпуска 450° и 600°C - стали 65Г и У8.

Таким образом, представляется возможность достаточно обоснованно проводить выбор необходимой стали и режимов её термического упрочнения, если имеются исходные данные какого - либо наиболее подходящего аналога.

Термическая обработка с предварительной подготовкой структуры, заключающаяся в проведении нормализации углеродистых и малолегированной сталей с экстремальной температуры нагрева (1100°C), повторном нагреве до принятых для каждой марки стали закалочных температур, закалки и отпуска, может обеспечить рост износостойкости при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы на 20 - 50 %.

Разработана компьютерная программа по выбору сталей, технологий их термического упрочнения для обеспечения требуемого уровня износостойкости при трении скольжения о незакрепленные абразивные частицы.

Библиографический список

1. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. - М.: Машиностроение, 1971. - 264 с.
2. Mukhamedov A.A. Heat treatment with double phase recrystallization for improving service properties of machine parts and tools. / Heat treatment and technology of surface coating. Materials of the Congress. Volume v. MOTO. December 11-14. Moscow. 1990 P. 38 - 39.
3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия - М.: Металлургия, 1982. - 632 с.
4. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию – М.: Машиностроение, 1976. - 267 с.
5. Мухамедов А.А., Тилабов Б.К. Повышение износостойкости деталей с твердосплавными покрытиями термической обработкой // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2003. №12. С. 35 - 37.
6. Коршунов Л.Г., Макаров А.В., Счастливец В.М., Яковлева И.Л., Оцинцева А.Л. Структура и износостойкость стали У8, обработанной лазером. // Физика металлов и металловедение, 1988. т. 66, выпуск 5. С. 948 -957.
7. Бокштейн С.З. Структура и механические свойства легированной стали - М.: Металлургия, 1994. - 287 с.