

УДК 621.9.02

Кинденко Н. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Технологические направления исследований в области технологии магнитной обработки инструмента в импульсных магнитных полях связаны с влиянием магнитной обработки на стойкостные зависимости инструмента.

Однако, если основываться на изменении физико-механических свойств инструментального материала как основной причины повышения стойкости инструмента, необходимо сравнить конкретные свойства быстрорежущих сталей до обработки и после неё, причём, в первую очередь такие свойства, которые определяют стойкость инструмента [1].

Увеличение количества карбидов и уменьшение их способности к коагуляции при возрастании температуры в зоне резания должно выразиться в повышении теплостойкости быстрорежущей стали [2].

В то же время магнитная обработка должна привести к увеличению холодной твёрдости быстрорежущей стали, а более равномерная структура материала должна уменьшить разброс значений твёрдости в объёме одного и того же инструмента [3].

Однако нет единого, всесторонне подтвержденного взгляда на изменение твёрдости и теплостойкости инструмента, изготовленного из быстрорежущих сталей, в результате воздействия импульсного магнитного поля.

Целью работы является исследование изменений холодной HRC твёрдости и теплоёмкости HRC_T быстрорежущих сталей после магнитной обработки при различных режимах магнитной обработки с целью определения условий воздействия, приводящих к максимальному повышению стойкости инструмента.

Для получения наибольшего количества экспериментальных данных от одной партии испытываемых образцов из быстрорежущих сталей было решено объединить исследования по влиянию значений напряженности магнитного поля и времени старения материала на изменения твёрдости и теплоёмкости. Образцы выдерживались в магнитном поле (как и при стойкостных испытаниях) в течение одной минуты.

Зависимость $HRC = f(H)$ для стали марки P6M5 строилась в диапазоне напряженности полей от $1,2 \cdot 10^5$ А/М до $1,6 \cdot 10^5$ А/М. Необходимо отметить, что значение твёрдости (HRC) для каждого значения поля замерялись в течение ряда суток, вплоть до окончания изменения его значений. Оказалось, что значения твёрдости из образцов менялись в течение 1-х суток, после чего твёрдость стабилизировалась. Затем эти же образцы подвергались испытаниям на теплостойкость (HRC_T).

На рис. 1 представлены результаты выполненных экспериментов. Исследования показали, что относительно слабые магнитные поля не приводят к изменению значений твёрдости и теплостойкости. Зависимости $\Delta HRC = f(H)$ и $\Delta HRC_T = f(H)$ имеют максимум при напряженности поля $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/М. Дальнейшее увеличение напряженности поля приводит к снижению твёрдости и теплостойкости и при $H = 1,6 \cdot 10^5$ А/М эти параметры практически не отличаются от твёрдости и теплостойкости образцов в исходном положении.

Установлено, что наибольшее повышение стойкости магнитнообработанного инструмента и наибольшее повышение значений твёрдости и теплостойкости получены при одних и тех же значениях рабочего поля ($H_0 = 1,2 \cdot 10^5$ А/М).

Максимальное повышение твёрдости и теплостойкости быстрорежущей стали при напряженности поля $H_0 = 1,2 \cdot 10^5$ А/М происходит за счёт магнитострикционного субструктурного упрочнения.

Важным элементом режима магнитной обработки является время выдержки инструмента после магнитной обработки.

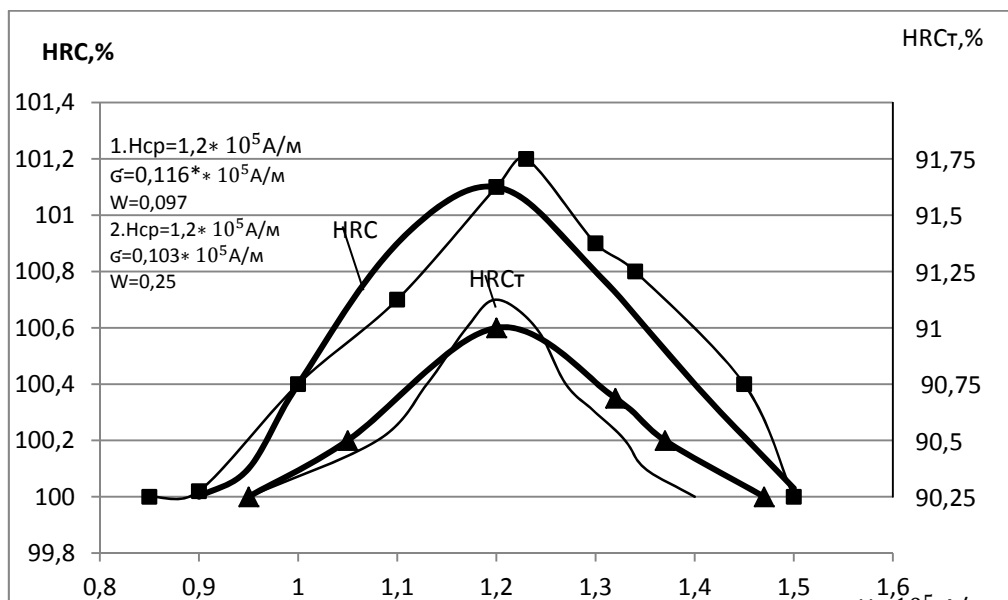


Рис. 1. Зависимость изменения твердости и теплостойкости стали Р6М5 от напряженности магнитного поля после 24 часовой выдержки инструмента

На рис. 2 представлены экспериментальные данные изменения твёрдости и теплостойкости стали Р6М5К5 в исходном состоянии после термообработки, через 6 часов и через 24 часа после магнитной обработки.

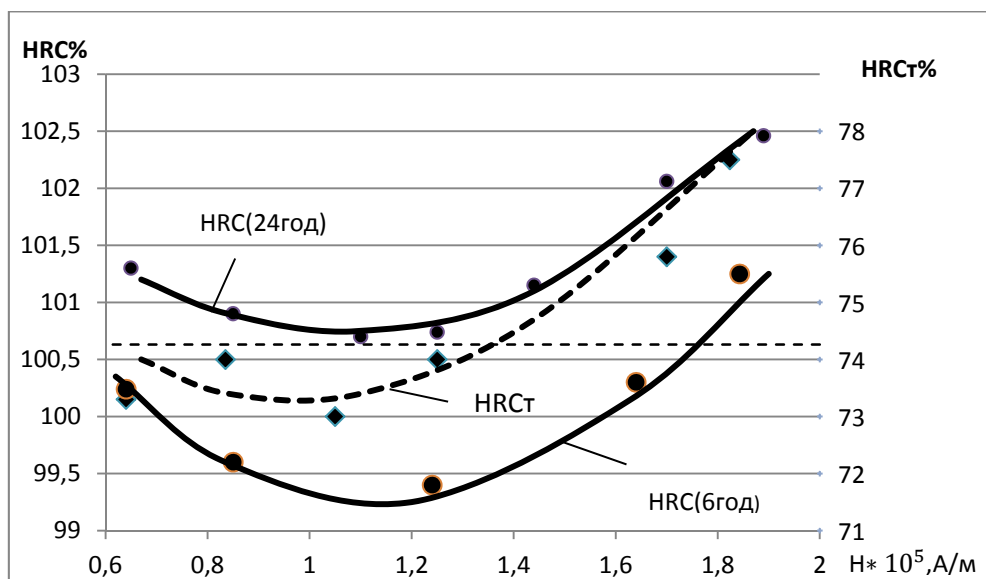


Рис. 2. Зависимость изменения твердости и теплостойкости стали Р6М5К5 от напряженности поля и времени старения (----- – теплостойкость в исходном состоянии); режим обработки: $f = 5$ Гц; $T = 60$ с

Проведенные исследования показали, что в стали Р6М5К5 через 6 часов после магнитной обработки значения твёрдости в диапазоне полей $1,5 \cdot 10^4$ – $1,2 \cdot 10^5$ А/М уменьшаются, достигая минимума при $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/М. При дальнейшем увеличении напряжённости поля значения твёрдости растут и, начиная с рабочих полей напряжённостью более $1,35 \cdot 10^5$ А/М, становятся выше исходных.

Затем в течение 24 часов продолжается рост твёрдости всех образцов и после выдержки они имеют твёрдость на 0,75–2,25 % выше исходной с максимальной твёрдостью, полученной после использования полей максимальной напряженности для экспериментальной установки ОИМП-РК1.

Испытания стали Р6М5К5 на теплостойкость (рис. 2) показали, что она повышается по сравнению с исходным состоянием только после обработки в полях напряженностью выше $1,35 \cdot 10^5$ А/М, и достигает наибольших значений, как и твёрдость, при самом высоком значении напряженности поля, создаваемого установкой.

В табл. 1 представлены экспериментальные данные, полученные при изучении значений повышения твёрдости стали Р6М5 (по Виккерсу) после воздействия $H_{\text{опт}}$ для этой марки материала. Установлено, что среднее увеличение твёрдости образцов составило около 3 %. Аналогичные результаты были получены и при изучении повышения твёрдости по способу Бринелля.

Таблица 1

Влияние магнитной обработки на твёрдость (по Виккерсу) стали Р6М5

№ опыта	Твёрдость (HV)			
	образца № 1		образца № 2	
	до МГО	после МГО	до МГО	после МГО
1	816	868	826	871
2	811	847	855	842
3	820	854	881	864
4	812	843	839	845
5	819	824	834	840
6	841	863	855	848
7	822	853	839	879
8	827	850	821	863
9	843	836	817	870
10	865	926	840	847
Средн. знач.	827,5	856,4	840,7	856,9
%	100	103,5	100	101,9

Представляют практический интерес исследования по влиянию частоты следования импульсов магнитного поля на изменение свойств инструментального материала.

На рис. 3 показано влияние частоты импульсов на изменение твёрдости быстрорежущей стали. Из рис. 3 следует, что варьирование частоты импульсов не влияет на изменение твёрдости исследуемой быстрорежущей стали.

В связи с установленным фактом все следующие опыты проводились с частотой следования импульсов 5 Гц, так как на этих режимах установка ОИМП-РК1 работает наиболее устойчиво.

Время выдержки инструмента в процессе магнитной обработки является важным элементом режима магнитной обработки. Опыты показали, что для стали Р6М5 достаточно времени воздействия магнитного поля в течение 60 с, чтобы достичь наибольшего увеличения твёрдости материала (рис. 4).

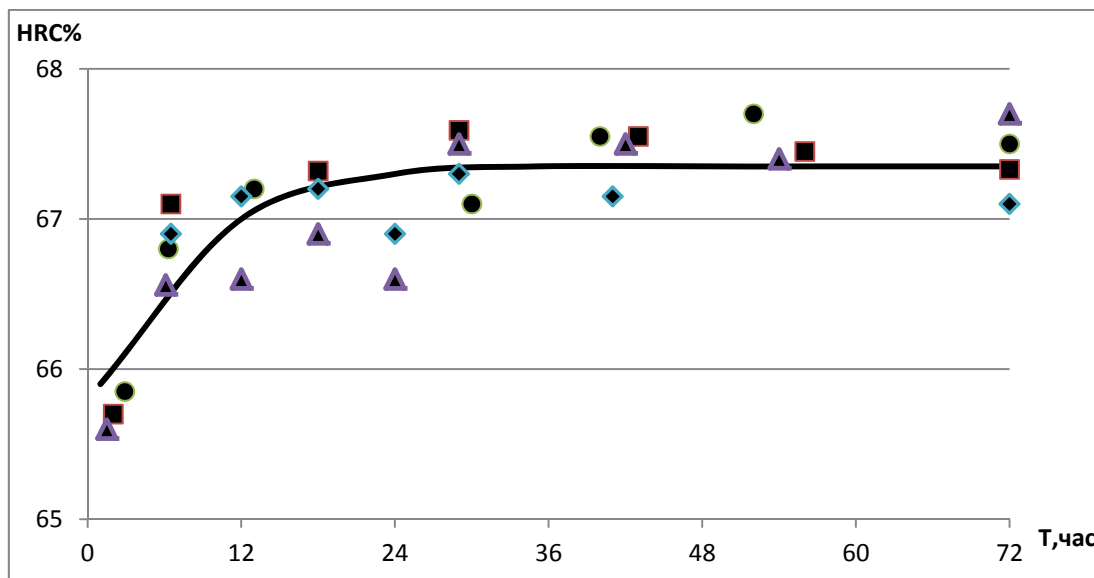


Рис. 3. Зависимость твердости стали P6M5K5 от времени старения после магнитной обработки:

частота импульсов: \blacklozenge – 2 Гц; \blacktriangle – 4 Гц; \blacksquare – 5 Гц; \bullet – 7 Гц; напряженность поля $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м; время обработки $\tau = 60$ с

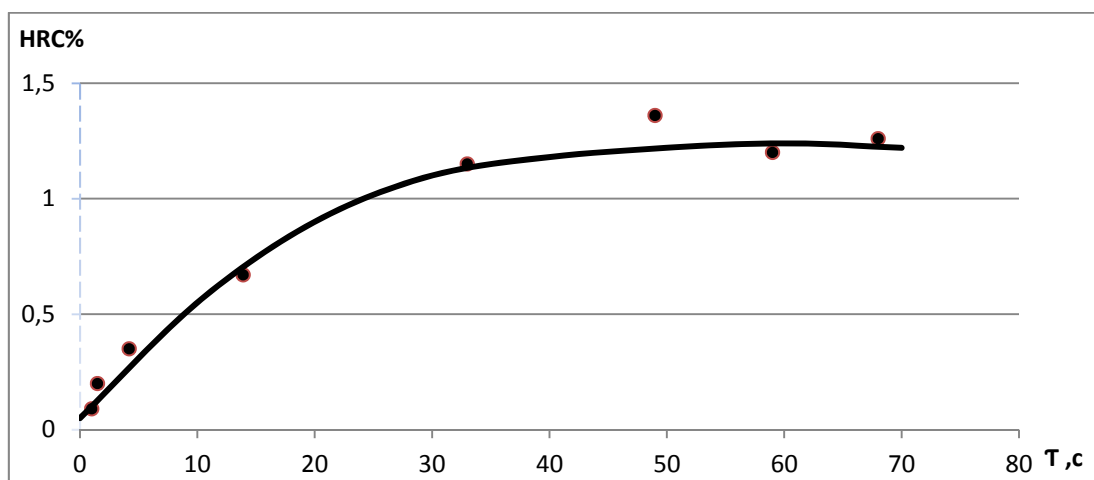


Рис. 4. Зависимость изменения твердости быстрорежущей стали P6M5 от продолжительности магнитной обработки:

режим обработки: $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м; $f = 5$ Гц

Динамика старения образцов из быстрорежущей стали изучалась на сталях P6M5 и P6M5K5. Окончанием времени старения считалось такое время, по истечении которого прекращалось изменение твердости образцов.

Данные о влиянии времени старения образцов после магнитной обработки приведены на рис. 5. Эти данные показывают, что рост твердости образцов из стали марки P6M5 начинается после 6-ти часов после обработки и через 24 часа после этой операции достигает наибольших значений. Стабилизация твердости у стали P6M5K5 произошла через 36 часов.

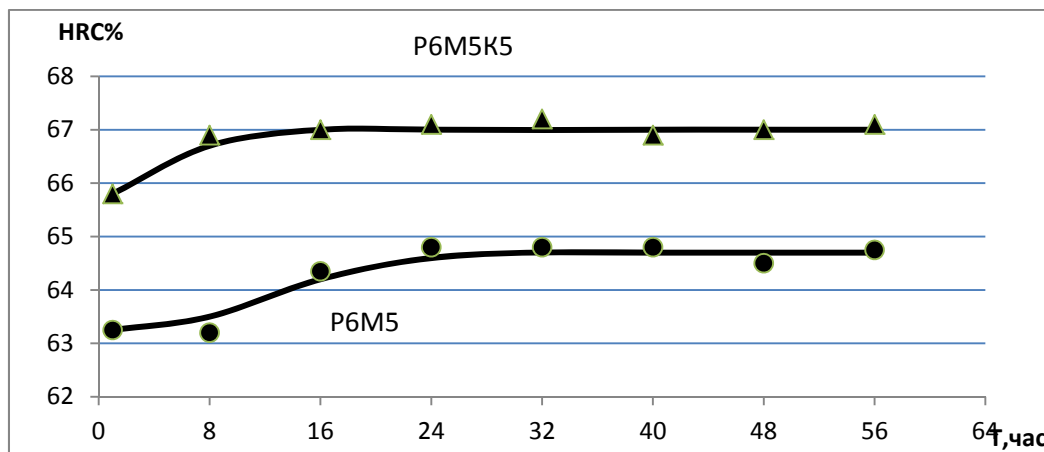


Рис. 5. Зависимость твердости быстрорежущей стали от времени старения после магнитной обработки:

режим обработки: для стали P6M5 $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м; $\tau = 60$ с; $f = 5$ Гц; для стали P6M5K5 $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м; $\tau = 65$ с; $f = 5$ Гц

На основании приведенных исследований магнитная обработка инструмента из стали P6M5 проводилась на следующих режимах:

- напряженность магнитного поля $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м;
- частота импульсов $f = 5,0$ Гц;
- время магнитной обработки $\tau = 60$ с.;
- время выдержки после МГО $T = 24$ часа.

С теоретической и практической точек зрения наибольший интерес для улучшения физико-механических свойств инструмента представляет горячая твёрдость быстрорежущей стали, т. е. твёрдость при температурах, возникающих в процессе резания. Горячая твёрдость быстрорежущей стали предопределяет способность инструмента сохранять формоустойчивость режущего клина в условиях процесса резания.

Исследования показали, что в области температур 525–650 °С для стали P6M5 горячая твёрдость у магнитообработанной стали выше, чем в исходном состоянии (рис. 6). Это ещё раз подтверждает, что в повышении стойкости инструмента в результате импульсной магнитной обработки основную роль играет улучшение эксплуатационных свойств инструментального материала.

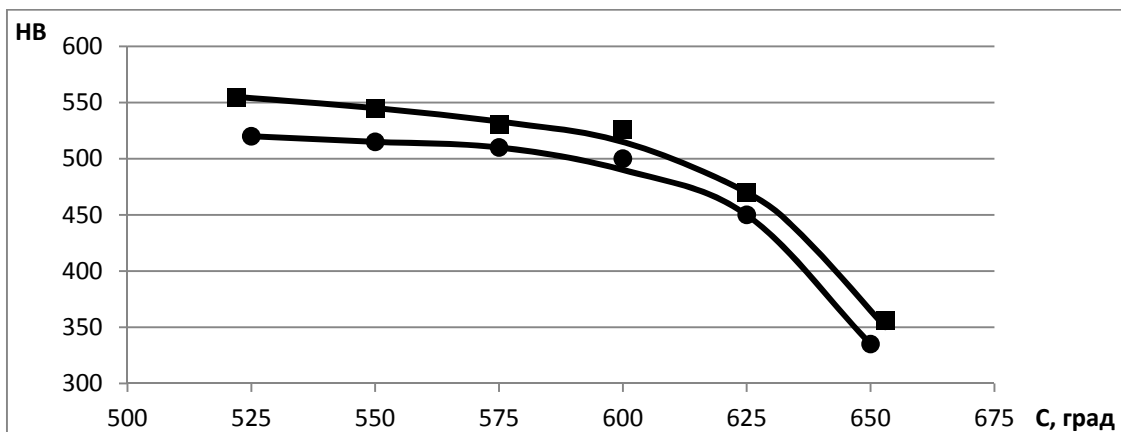


Рис. 6. Зависимость твердости стали P6M5 от температуры нагрева:

● – исходное состояние; ■ – после МГО

Для проведения серии экспериментов по исследованию данного вопроса был отобран инструмент из стали марки Р6М5К5, который имел одинаковую твёрдость HRC 66, причём одна партия этого инструмента имела эту твёрдость уже в исходном состоянии, а другая приобрела её в результате магнитной обработки.

Исследования показали, что несмотря на одинаковую холодную твёрдость, инструмент, подвергнутый воздействию магнитного поля, имеет стойкость почти в 2 раза выше по сравнению с инструментом в исходном состоянии.

Быстрорежущая сталь, как любое твёрдое тело обладает внутренним упругим полем, обусловленным реальной дислокационной структурой. С наложением магнитного поля на материал на это собственное упругое поле накладывается упругое поле, вызванное магнитнострикционной деформацией.

Из положения о магнитнострикционном упрочнении и магнитнодисперсионном твердении быстрорежущей стали следует, что в результате воздействия на инструмент импульсными магнитными полями происходят изменения структуры материала, способствующие улучшению физико-механических свойств.

Отсюда можно сделать важный вывод о том, что повышение стойкости инструмента происходит не за счёт недостатков термической обработки, выражающегося в повышении холодной твёрдости, а за счёт улучшения свойств инструментального материала и в первую очередь таких эксплуатационных свойств, как твёрдость и теплостойкость.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ влияния режимов магнитной обработки на изменение твердости и теплоемкости быстрорежущих сталей после обработки импульсным магнитным полем позволяет сделать следующие выводы:

– в результате воздействия импульсного магнитного поля происходит изменение физико-механических свойств быстрорежущих сталей, возрастает холодная и горячая твёрдость и инструментальный материал становится более однородным по структуре;

– для устойчивого проявления эффекта магнитной обработки инструмента необходимо в каждом конкретном случае учитывать значение напряженности магнитного поля, время выдержки инструмента в рабочем индукторе и время старения инструмента после магнитной обработки;

– теплостойкость быстрорежущих сталей повышается по сравнению с исходным состоянием только после обработки в полях напряженностью выше $1,35 \cdot 10^5$ А/М и достигает наибольших значений, как и твёрдость, при самом высоком значении напряженности поля, создаваемого установкой;

– варьирование частоты импульсов при магнитной обработке не влияет на изменение твёрдости быстрорежущей стали.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинденко Н. И. Магнитострикционное упрочнение и магнитно-дисперсионное твердение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях [Электронный ресурс] / Н. И. Кинденко // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорск, 2017. – № 2 (23Е). – С. 31–35. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962\(23%D0%95\)_2017/article/8.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(23%D0%95)_2017/article/8.pdf).

2. Кинденко Н. И. Обоснование технологических границ применения способа магнитной обработки пробивного пуансона и сверл из быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях / Н. И. Кинденко, В. А. Мотов // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 2 (43). – С. 165–169.

3. Кинденко Н. И. Механизм изнашивания и работоспособность инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали и упрочненного методом ОИМП / Н. И. Кинденко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – № 2 (44). – С. 120–124.