

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Кинденко Н. И.

Викладена робота присвячена дослідженню питань, які пов'язані з підвищенням експлуатаційних властивостей інструменту виконаного із швидкорізальних сталей шляхом магнітно-імпульсної обробки, яка являє собою поєднання електромагнітного і термодинамічного способів керування неврівноваженою структурою речовини. Проаналізовано існуючі способи магнітної обробки, з однієї сторони, як методів збільшення стійкості ріжучого інструмента шляхом наложення на зону різання магнітного поля та з другої сторони, впливу магнітного поля на матеріал, з якого виготовлений інструмент. Виявлено, що найбільш стабільно збільшують стійкість та якість інструменту методи, що пов'язані з обробкою самого матеріала інструменту в постійних, змінних і імпульсних магнітних полях. Показано, що ефективність метода магнітної обробки залежить від цілого ряду факторів, які відносяться як до умов впливу на інструмент магнітним полем, так і до умов, в яких цей інструмент експлуатується.

Настоящая работа посвящена исследованию вопросов связанных с повышением эксплуатационных свойств инструментов из быстрорежущих сталей путем магнитно-импульсной обработки, представляющей собой сочетание электромагнитного и термодинамического способов управления неравновесной структурой вещества. Проведен анализ существующих способов магнитной обработки, с одной стороны, как методов повышения стойкости режущего инструмента путем наложения на зону резания магнитного поля и с другой стороны, воздействия магнитного поля на материал, из которого изготовлен инструмент. Установлено, что наиболее стабильно повышает стойкость и качество инструмента методы, связанные с обработкой самого материала инструмента в постоянных, переменных и импульсных магнитных полях. Показано, что эффективность способа магнитной обработки зависит от целого ряда факторов, относящихся как к условиям воздействия на инструмент магнитным полем, так и к условиям, в которых этот инструмент эксплуатируется.

The given article deals with the research of the problems connected with increasing of service properties tools made of high-speed steels by means of magneto-pulse machining which is the combination of electromagnetic and thermodynamic means of unbalanced structure material control. The analysis of existent methods of magnetic treatment is conducted, from one side, as methods of increase of firmness of toolpiece by imposition on the zone of cutting of magnetic-field and on the other hand, affecting of magnetic-field material, which an instrument is made from. It is set that most stably promotes firmness and quality of instrument the methods, related to treatment of material of instrument in permanent, variable and impulsive the magnetic fields. It is shown, that efficiency of method of magnetic treatment depends on a number of the factors, related both to the terms of affecting instrument by the magnetic field and to the terms which this instrument is exploited in.

Кинденко Н. И.

канд. техн. наук, доц. ДГМА  
[okmm@dgma.donetsk.ua](mailto:okmm@dgma.donetsk.ua)

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.9.02

Кинденко Н. И.

## **ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

Одним из основных направлений физической технологии является магнитная обработка материалов. При магнитном воздействии вещество изменяет свои физические и механические свойства.

Повышение качества инструментов можно достичь легированием материалов, а также с применением всех известных механизмов объемного упрочнения при термической обработке. Причины отказов инструментов чаще всего связаны не с их поломкой, а с утратой ими своей первоначальной поверхностной конфигурации вследствие износа, сколов, смятия, растрескивания, т. е. в связи с разрушением или деформации тонких поверхностных слоев металла [1].

Улучшение свойств у ферромагнитных деталей, которые прошли магнитно-импульсную обработку (МИО), достигается за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, вследствие чего увеличивается тепло- и электропроводимость материала. Взаимодействие импульсного магнитного поля с деталью из токопроводящего материала происходит тем интенсивнее, чем выше структурная и энергетическая неоднородность вещества [2].

Поля локальных перенапряжений в быстрорежущих сталях появляются в результате магнитострикции. В этих условиях частицы карбидной фазы оказываются концентраторами напряжений, которые уменьшаются за счет дополнительных источников дислокаций.

В целом результат магнитной обработки рассматривается как проявление эффектов последействия в материалах, находящихся на границах стабильности их свойств и подвергнутых воздействию внешнего силового поля [3].

Анализ литературных данных показывает, что способ магнитного воздействия на инструмент выгодно отличается от других методов упрочнения целым рядом факторов. Однако нет описания четких границ применения способа магнитной обработки.

Вместе с тем пока еще нет и единого, всесторонне подтвержденного взгляда на причины, вызывающие изменение эксплуатационных свойств режущего инструмента в результате воздействия импульсного магнитного поля.

Целью работы является на базе известных теоретических представлений проанализировать различные методы магнитной обработки, а так же исследовать влияние параметров режимов импульсной магнитной обработки на стойкость осевого режущего инструмента из быстрорежущих сталей.

Существует два принципиально различных направления в разработке методов магнитной обработки режущих инструментов (рис. 1).

Согласно первому из них повышение стойкости режущего инструмента, а также механических и технологических свойств деталей достигается путем наложения на зону резания магнитного поля.

Второе направление предполагает воздействие магнитного поля самого материала, из которого изготовлен инструмент.

Каждое из названных направлений реализуется на практике многочисленными способами различными как по своим физическим технологическим принципам, так и по конструктивным исполнениям установок.

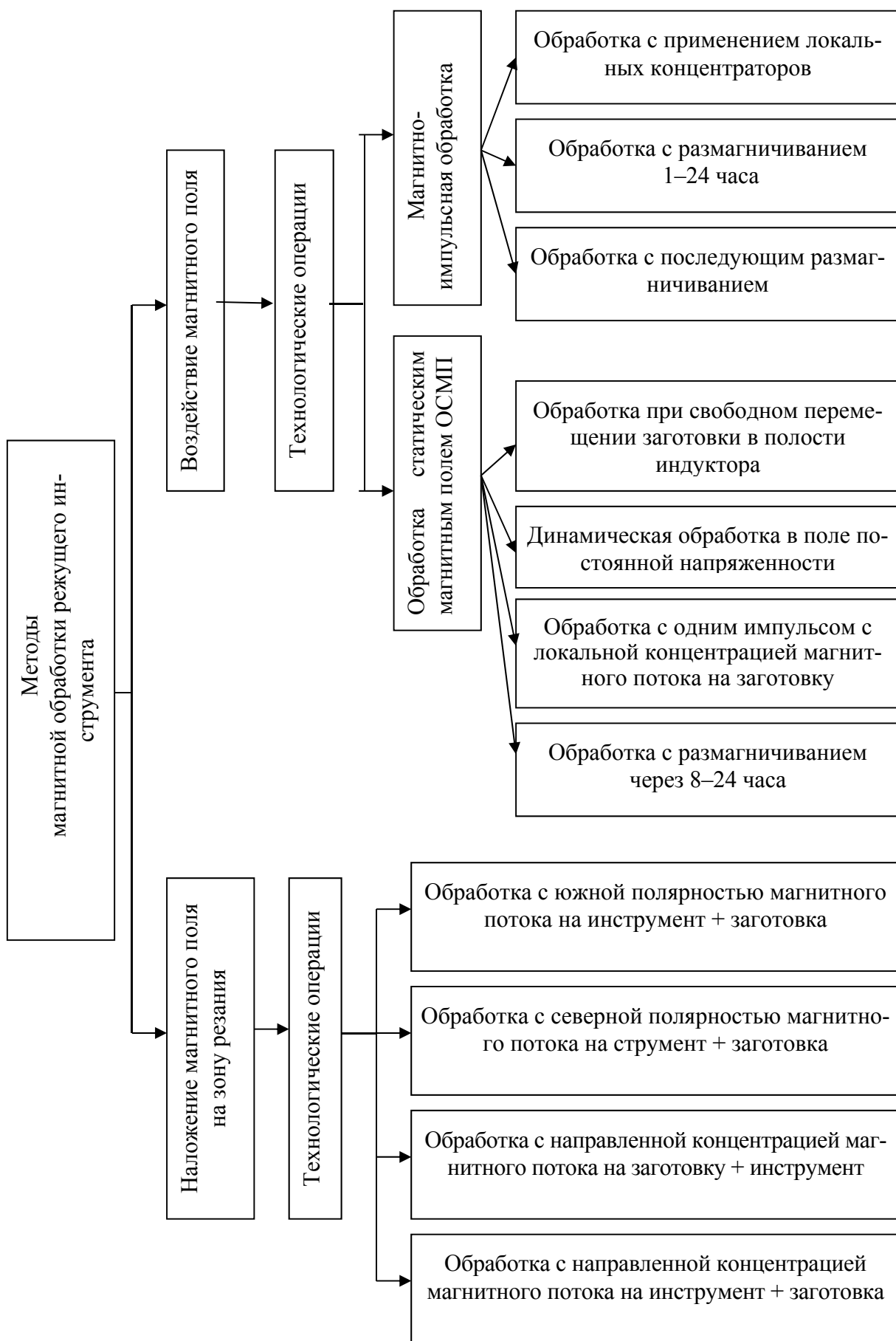


Рис. 1. Классификация методов магнитной обработки режущих инструментов

Имеется коренное различие между двумя указанными группами методов. Речь идет о характере изменения условий процесса резания при наложении магнитного поля на зону резания и при обработке материалов намагниченным инструментом.

Энергетическое состояние ферромагнетика определяется энергетическим и квантовым взаимодействием магнитных моментов всех внешних электронов атомов вещества, образующих конкретную деталь.

Для конкретного атома сплава его энергетическое состояние ( $\Phi$ ) с учетом его возбуждения внешним магнитным полем можно определить по следующей зависимости:

$$\Phi = \Phi(x, y, z, t) \cdot S(L) \cdot P_s, \quad (1)$$

где  $\Phi(x, y, z, t)$  – энергетическое состояние материала массой  $m$  при объеме  $V$ ;

$S(L)$  – неравновесное состояние атомов вещества, способных изменять его под действием внешнего магнитного поля средне напряженности;

$P_s$  – коэффициент, характеризующий магнитную энергию этих атомов.

При изготовлении реальных деталей в материале неравномерно концентрируется некоторое количество избыточной энергии ( $F$ ), с увеличением которой возрастает вероятность разрушения детали ( $P$ ).

Для повышения надежности работы механизма необходимо величину максимальной вероятности разрушения детали снизить примерно в 4 раза. Это возможно за счет уменьшения избыточной энергии материала внешними физико-технологическими методами.

Из рис. 2 следует, что для каждого материала существует оптимальное значение внешнего импульсного магнитного поля  $H_{\text{опт}}$ , при котором концентрация напряжений в материале, а следовательно и избыточная энергия предельно уменьшается ( $F \rightarrow F_{\text{min}}$ ), вследствие чего повышается надежность детали.

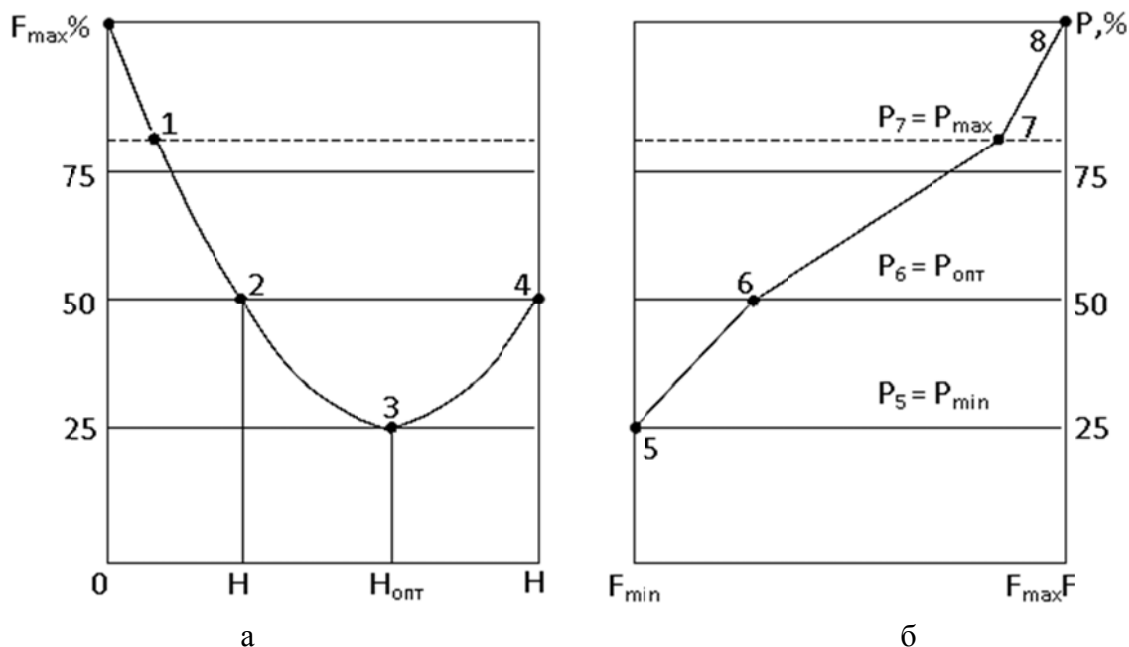


Рис. 2. Изменение избыточной энергии  $F$  в образце из ферромагнитного сплава в зависимости от напряженности поля  $H$  при МИО (а) и влияния  $F$  на вероятность разрушения детали  $P$  (б)

Для уменьшения значения избыточной энергии в материале конкретного инструмента необходимо затратить некоторое количество электромагнитной энергии ( $W_0$ ), которая может быть определена из уравнения:

$$W_o = K_1 \cdot K_2 \int \int \int_m dm \cdot V_d \cdot V_m \cdot \Phi^n \cdot d\phi, \quad (2)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий влияние концентраций поверхностных и внутренних напряжений на стойкость инструмента (связан с конструированием и технологией изготовления детали (для стальных деталей  $K_1 = 1,5-2,5$ ));

$K_2$  – коэффициент, учитывающий потери энергии при МИО детали;

$\Phi$  – функция, отражающая физико-механические свойства материала;

$n$  – показатель, учитывающий надежность детали (для стальных деталей, работающих при статических нагрузках  $n=2$ ).

Энергия магнитного поля, развиваемая соленоидами магнитно-импульсных установок, определяется по формуле:

$$W = K_2 \cdot (B \cdot H) \cdot V, \quad (3)$$

где  $B$  – магнитная индукция в соленоиде, Тл;

$H$  – напряженность магнитного поля, А/м;

$V$  – объем пространства, где концентрируется магнитное поле, м<sup>3</sup>.

При МИО за время импульса в соленоиде установки выделяется энергия магнитного поля, которая распределяется в основном следующим образом:

$$W_o = K_{np} \cdot (W_1 + W_2), \quad (4)$$

где  $K_{np}$  – коэффициент неучтенных потерь энергии, зависящий от взаимоиндукции поля детали с полем соленоида;

$W_1$  – энергия, расходуемая на намагничивание детали, Дж;

$W_2$  – энергия, расходуемая на локальный нагрев детали, Дж.

Энергия, расходуемая на намагничивание детали, пропорциональна величине намагниченности ( $M$ ) и зависит от свойств материала:

$$W_1 = K_3 \cdot V, \quad (5)$$

где  $K_3$  – коэффициент, учитывающий электромагнитные свойства материала.

Для каждой стали существует определенная величина напряженности импульсного магнитного поля, а, следовательно, и величина магнитной энергии  $W_1$ , которая поглощается материалом в течение времени обработки ( $t$ ) и максимально улучшает его механические и технологические свойства. Между повышением стойкости детали и магнитной проницаемостью существует корреляционная зависимость.

Магнотриксционное упрочнение быстрорежущей стали, вызывающее улучшение физико-механических свойств материала, тесно связано с напряженностью наложенного на инструментальный материал магнитного поля.

Из рис. 3 следует, что с увеличением напряженности магнитного поля, в котором проводилась обработка инструмента, возрастало, и значение твердости и теплостойкости стали Р6М5К5.

Импульсное магнитное поле, взаимодействуя с материалом детали, изменяет ее тепловые и электромагнитные свойства, улучшает структуру и эксплуатационные характеристики, что положено в основу технологии магнитного упрочнения.

Первопричиной улучшения эксплуатационных характеристик инструмента, подвергнутого магнитной обработке, является изменение свойств инструментального материала. Оно происходит за счет магнотриксционного упрочнения быстрорежущей стали, что вырождается в повышение ее теплостойкости.

При магнитной обработке детали вследствие неоднородной кристаллической структуры в ней возникают вихревые токи. Вихревые токи обуславливают магнитное поле и локальные микровихри, которые в свою очередь, нагревают участки вокруг кристаллитов напряженных блоков и неоднородностей структуры металла. В местах концентрации остаточных или усталостных

напряжений, связанных с технологией производства, обработки или эксплуатации детали теплота, наведенная при МИО вихревыми токами, частично уменьшает избыточную энергию составляющих кристаллитов и зерен структуры образца особенно в зоне контакта напряженных участков.

Одновременно с тепловыми процессами за счет импульсного магнитного поля в металле происходит полярная ориентация спинов электронов атомов, расположенных в области контакта кристаллитов и зерен сплавов, вследствие чего улучшаются механические свойства материала.

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

Процесс магнитнодисперсионного твердения протекает не мгновенно, а через некоторое время после операции магнитной обработки, чтобы стабилизировать новые свойства инструментальной стали.

Для завершения внутренних процессов, связанных с рассеиванием электромагнитной энергии в материале детали необходимо время (Т).

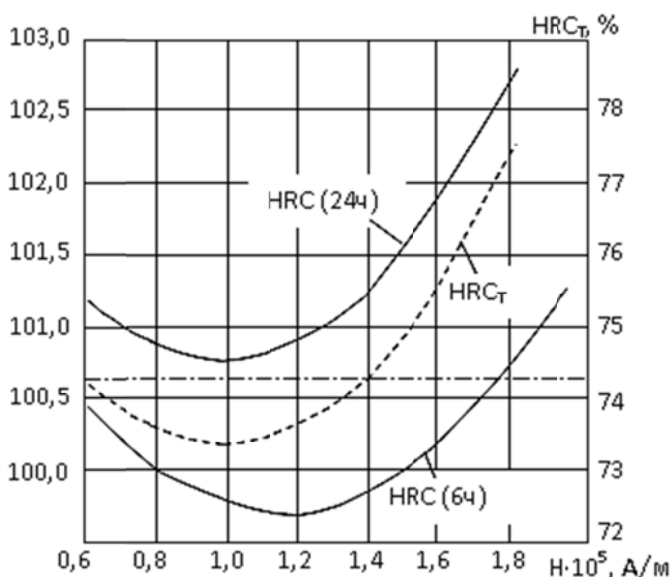


Рис. 3 Зависимость изменения твердости и теплостойкости стали Р6М5К5 от напряженности поля и времени старения

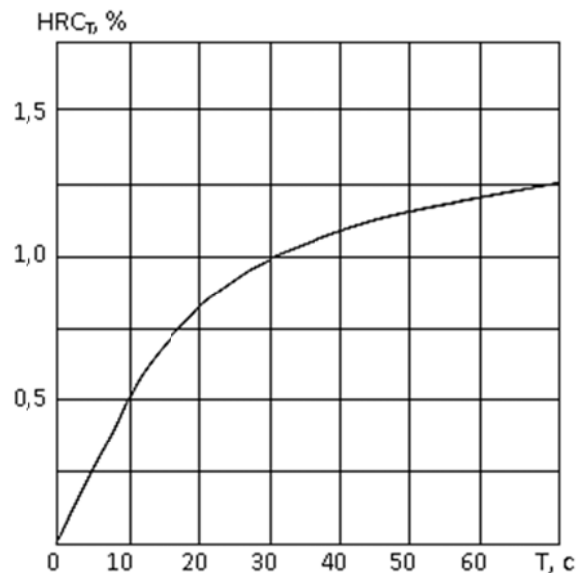


Рис. 4 Зависимость изменения твердости быстрорежущей стали Р6М5 от продолжительности магнитной обработки

Время выдержки инструмента из быстрорежущей стали после МИО в спокойном состоянии определяется по эмпирическому уравнению:

$$T = \frac{K}{H} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{K_m}{K_\phi} \cdot \frac{m}{V_m}, \quad (6)$$

где К – коэффициент, зависящий от свойств материала инструмента;

Н – напряженность поля соленоида установки, кА/м;

d/l – отношение диаметра инструмента к его длине;

K<sub>m</sub>/K<sub>φ</sub> – отношение магнитной проницаемости материала инструмента к магнитной проницаемости феррита;

m – масса инструмента, грамм;

V<sub>m</sub> – объем металла инструмента, см<sup>3</sup>.

При резании материалов в магнитном поле на инструмент действуют следующие факторы: распределение тепловых потоков в зоне резания за счет термомагнитного эффекта Риги-Ледюка и повышение механических свойств материала инструмента за счет упорядочения зернистости структуры.

Первый фактор проявляется в поперечном магнитном поле, а второй как в продольном, так и поперечном магнитном поле.

Исследование влияния напряженности постоянного и переменного магнитных полей и режимов резания на стойкость быстрорежущего инструмента, показало, что наложение магнитного поля на зону резания снижает износ инструмента, причем эффективность этого влияния зависит от напряженности магнитного поля (рис. 5).

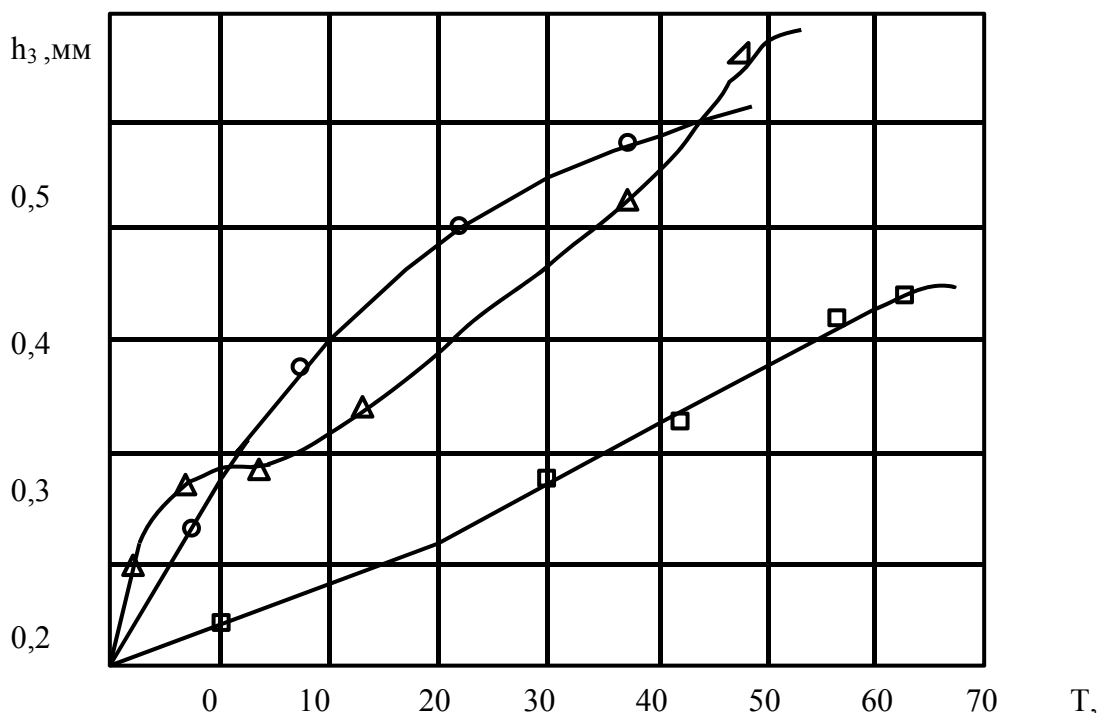


Рис. 5. Зависимость износа инструмента из быстрорежущей стали от времени при обработке чугуна. Характеристики магнитного поля – переменное; ○ – стандартное сверление; Δ – воздействие магнитного поля через «инструмент – заготовка»; □ – воздействие магнитного поля через «заготовка – инструмент»

Наложение магнитного поля на зону резания обуславливает появление усилия, вызывающего изгиб в корне стружки, сокращения длины контакта стружки с инструментом и, следовательно, снижения сил резания. Одновременно с уменьшением площади контакта изменяется угол сдвига, а также толщина стружки вследствие чего уменьшаются силы резания.

В результате наложения на зону резания магнитного поля повышение стойкости инструмента происходит в результате изменения поворота теплового потока в зоне резания, который либо нагревает, либо охлаждает режущую кромку инструмента.

Эффект наложения на зону резания магнитного поля тем выше, чем больше величина, принятая за критерий затупления инструмента.

При наложении магнитного поля на зону резания характер зависимостей относительного поверхностного износа от скорости резания не изменяется, при этом наблюдается лишь снижение или повышение уровня оптимальных скоростей резания (в зависимости от полярности магнитного поля) и уменьшения величины оптимального поверхностного износа.

Наиболее стабильно повышает стойкость инструмента методы, связанные с обработкой самого материала инструмента в постоянных, переменных и импульсных магнитных полях.

Импульсная магнитная обработка значительно повышает износостойкость и режущие свойства быстрорежущих сталей. Эффективность магнитной обработки быстрорежущих сталей зависит от напряженности импульсного магнитного поля. Для каждой марки быстрорежущей стали существует оптимальная напряженность импульсного магнитного поля, которая обеспечивает наибольшее увеличение износостойкости быстрорежущей стали после импульсной магнитной обработки.

### ВЫВОДЫ

Проведенный анализ методов магнитной обработки инструментов позволяет сделать следующие выводы:

- магнитная обработка представляет собой сочетание электромагнитного и термодинамического способов управления неравновесной структурой вещества;
- способы магнитной обработки следует рассматривать, с одной стороны, как методы повышения стойкости режущего инструмента путем наложения на зону резания магнитного поля и с другой стороны, воздействие магнитного поля на материал, из которого изготовлен инструмент;
- износостойкость магнитнообработанного режущего инструмента отличается от износа инструмента в исходном положении;
- эффективность способа магнитной обработки зависит от целого ряда факторов, относящихся как к условиям воздействия на инструмент магнитным полем, так и к условиям, в которых этот инструмент эксплуатируется.
- МИО представляет собой комплексное воздействие на материал магнитострикционных процессов и механических деформаций, тепловых и электромагнитных вихревых потоков, локализованных в местах концентраций магнитного потока, а также систему процессов, направленно ориентирующих «спин-характеристики» внешних электронов атомов пограничной зоны контакта зерен.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинденко Н. И. О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали / Н. И. Кинденко – *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем.* – Краматорськ, 2010. – Вип. 26. – С. 203–208.
2. Кинденко Н. И. Характеристика методов магнитной обработки режущих инструментов из быстрорежущих сталей / Н. И. Кинденко – *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових робіт* – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3 (28). – С. 287–292.
3. Исследование влияния магнитно-импульсных поверхностных воздействий на эксплуатационные характеристики инструментальных сталей и инструмента / В. Л. Володин, Л. Б. Зуев, Т. В. Володин, В. В. Гайдук – *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – М., 2009. – № 6. – С. 61–65.