

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТНЫХ И МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЯХ

*Скирденко О.И.*

*Херсонский государственный университет,*

*Клевцов К.М., Шарко А.В., Михайлик В.Д.*

*Херсонская государственная морская академия*

*Одним из весьма простых методов повышения износостойкости режущих и других видов инструментов является их обработка в магнитных и магнитно-импульсных полях. Такая технология не требует больших материальных затрат, мало энергоемкая, но позволяет повысить его стойкость в 1,3 ... 1,5 раза.*

*Несмотря на многолетние исследования влияния магнитных полей на физико-механические свойства инструментальных материалов, технологические характеристики магнитно-обработанных инструментов еще исследованы недостаточно, в особенности это относится к специальным видам режущих и других видов инструментов.*

*Цель работы – установить основные направления модификации инструментальных материалов в магнитных и магнитно-импульсных полях для улучшения их свойств.*

*Следует отметить, что, несмотря на большое количество направлений модификации материалов, они дают возможность лишь поверхностно судить о протекающих явлениях, режимах обработки, что не позволяет использовать их результаты для промышленного применения. Применение метода магнитной и магнитно-импульсной обработки режущих инструментов и деталей машин, изготовленных из различных материалов, усложняется еще и тем, что для этого необходимы разработка и изготовление специальных установок в соответствии с габаритами и формой инструментов и деталей машин, которые будут подвергаться обработке.*

*Ключевые слова:* магнитная обработка, инструмент, материал.

**Введение.** Одним из весьма простых методов повышения износостойкости режущих и других видов инструментов является их обработка в магнитных и магнитно-импульсных полях. Такая технология не требует больших материальных затрат, мало энергоемкая (т. к. обработка проводится в течение малого промежутка времени), но позволит повысить его стойкость в 1,3 ... 1,5 раза.

**Актуальность исследования.** Несмотря на многолетние исследования влияния магнитных полей на физико-механические свойства инструментальных материалов (с 1929 года), технологические характеристики магнитнообработанных инструментов еще исследованы недостаточно, в особенности это относится к специальным видам режущих и других видов инструментов.

**Цель работы** – установить основные направления модификации инструментальных материалов в магнитных и магнитно-импульсных полях для улучшения их свойств.

**Обсуждение результатов.** Анализируя современное состояние магнитно-импульсной обработки инструментальных материалов следует отметить, что Гербертом еще в 1924 году отмечалось о влиянии магнитного поля на физико-механические свойства сталей типа P18. В исследованиях образец быстрорежущей стали подвергался воздействию магнитного поля напряженностью 120 кА/м (1500 э), при этом отмечалось повышение твердости исследуемого материала. Измерение твердости проверялось по маятниковому способу.

Продолжая исследования Герберта, А. В. Алексеев установил влияние магнитной обработки быстрорежущих сталей на их коррозионную стойкость. Он также определил, что полученный прирост твердости до HRC 67 сохраняется и после размагничивания образцов, однако стабилизация твердости происходит только после нескольких часов после обработки.

В 1958 году во Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте Л. А. Чудновской [1] исследовано влияние магнитного поля на повышение качества инструментов из различных сталей Р18, Х12Ф1, ХВГ и других. При этом изучали влияние переменного и постоянного магнитных полей на распад остаточного аустенита, прочность при изгибе. Установлено, что постоянное магнитное поле улучшает механические свойства сталей ХВГ и Р18 при изгибе, соответственно, на 65% и 25%. Магнитный отпуск ускорял распад остаточного аустенита в стали Р18. Целая серия различных испытаний инструментальных материалов позволила найти оптимальные режимы их магнитной обработки и выполнить испытания режущих инструментов. В результате испытаний установлено, что стойкость инструментов (сверл) повышается в 1,9 раза (рис. 1).

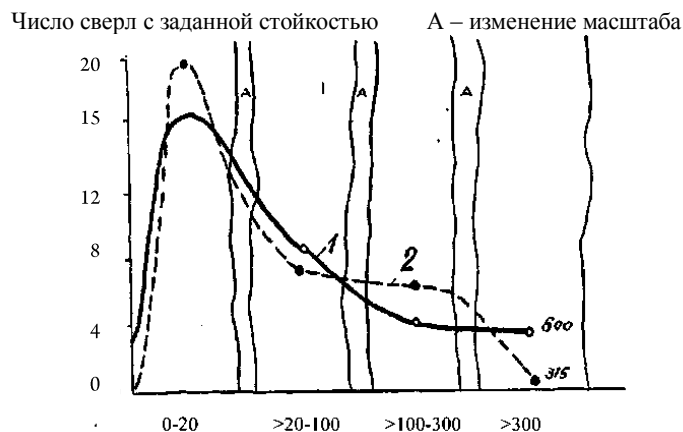


Рис. 1 – Кривые распределения стойкости сверл, подвергнутых магнитному отпуску: в течении 30 мин (кривая 1) и стандартному трехкратному отпуску при 560 °С (кривая 2)

Кроме отмеченного выше анализа ранее выполненных работ по магнитной обработке режущих инструментов, представляют интерес работы, выполненные в Украине и за рубежом в последние 10–15 лет.

Многие исследователи отмечают, что в результате взаимодействия инструмента и заготовки в процессе резания под влиянием термо-ЭДС возникает электромагнитная индукция, характеризующаяся напряженностью магнитного поля. Магнитное поле при этом имеет постоянную полярность, так как термо-ЭДС обладает постоянной направленностью.

Магнитная и электрическая полярность определяются в каждом конкретном случае сочетанием свойств материалов инструмента и заготовки, влиянием внешних магнитных, электрических и тепловых полей, действием ряда других факторов. Однако при любой полярности влияние магнитного поля приводит к накапливанию пылевидных микро-частиц металла в зоне резания, их намагничиванию и поляризации. Поляризованные частицы металла налипают на поверхности инструмента и заготовки, заряженные обратной полярностью, и действуют как абразивные микропорошки. Они создают в зоне резания эффект абразивного изнашивания и разрушения. Влияние этого эффекта распространяется на металл заготовки и инструмента. Его проявление на поверхности заготовки совпадает с целью процесса резания. Напротив, эффект налипания микро-частиц на лезвие инструмента приводит к увеличению силы трения и к абразивному изнашиванию его поверхности. В результате стойкость инструмента снижается.

Таким образом явления, возникающие в зоне резания в результате влияния магнитного поля, вызывают увеличение напряженности этого поля, что, в свою очередь, усиливает разрушительную силу описанных выше процессов. Следовательно, эффект разрушения лезвия инструмента под действием индуцированного магнитного поля постоянно усиливается. Развиваясь по восходящей кривой, он достигает максимального значения, характеризующегося точкой катастрофического разрушения, т.е. моментом выхода инструмента из строя.

Явления, подобные описанным выше, в той или иной степени возникают не только в паре инструмент – заготовка, но и в любой трущейся паре металлических деталей. Нельзя утверждать, что эти явления служат единственной или преобладающей причиной разрушения поверхностей инструментов или детали при резании металла или при работе трущейся пары. Однако они оказывают существенное влияние на скорость и характер протекания таких процессов.

При обработке углеродистой стали намагниченными резцами из быстрорежущей стали лучшие результаты достигаются инструментами, режущая кромка которых является северным полюсом магнита. Увеличение тока намагничивания, а следовательно, степени намагниченности до предела магнитного насыщения, приводит к возрастанию стойкости резцов. Влияние намагничивания на изнашивание резцов особенно заметно при работе с малыми значениями подачи (до 0,14 мм/об) и скорости резания до 15 м/мин. Намагничивающей обработке подвергают стальные режущие инструменты: резцы, сверла, развертки, метчики, плашки и др., а также ножи, матрицы и пуансоны разделительных штампов для холодной штамповки.

В свое время на кафедре технологии конструкционных материалов Санкт-Петербургского политехнического института И. А. Сенчило выполнены исследования по технологическим вопросам перемагничивания режущих инструментов. При этом выявлены оптимальные технологические режимы перемагничивания инструментов, обеспечивающие повышение их стойкости: частота перемагничивания – 2...4 Гц, магнитная индукция на рабочих поверхностях инструментов – 0,5...0,7 Т, длительность перемагничивания – 5000 циклов. Установлено также, что на величину и распределение магнитной индукции на рабочей поверхности инструмента при перемагничивании влияют: форма сечения инструмента, его размеры, угол поворота и положение инструмента в осевом направлении относительно магнитных полюсов.

В рассматриваемом исследовании отмечается, что перемагничивание не влияет на механические свойства составляющих материала инструмента, изготовленных из не закаленных конструкционных сталей.

Повышение стойкости инструментов имеет место во всем исследованном диапазоне скоростей и подач ( $V=5...70$  м/мин,  $S=0,07...0,21$  мм/об). Однако интенсивность роста для разных скоростей и подач оказалась неодинаковой. Наибольшее повышение стойкости в результате перемагничивания (до 2 раз) имеет место при небольших скоростях резания и подачах.

Переточка инструментов снимает эффект повышения стойкости в результате перемагничивания. Выдержка перемагниченных инструментов в течение длительного времени (в данных исследованиях до 10 месяцев) не снижает величины эффекта повышения их стойкости. Ряд важных исследований влияния магнитной обработки на стойкость режущих инструментов были выполнены Любеном Димитровым (Болгария). Им дан критический анализ гипотез по рассматриваемому вопросу, показана противоречивость некоторых исследований, отмечающих, как основную из причин получения эффекта, повышение стойкости намагниченных инструментов за счет термомагнитных явлений. Целый ряд работ, как отмечает Л. Димитров [2], показывают, что намагниченное состояние режущих инструментов не влияет на температуру резания, т.е. термомагнитный эффект при этом не наблюдается.

Полученные результаты исследований в рассматриваемой работе, полностью подтвердили сделанное предположение о влиянии магнитной обработки на аустенитно-мартенситное превращение поверхностных слоев, полученных после заточки быстрорежущих сталей. При заточке вследствие большого локального нагрева поверхностных слоев инструментов из быстрорежущих сталей происходят значительные структурные изменения. Фазовый состав этих слоев характеризуется большим количеством остаточного аустенита. Хрупкость, низкая теплоустойчивость и большая склонность к адгезии этого аустенита, а также и остаточное напряжение, которое им создается, определяют пониженную износостойчивость режущей кромки.

Быстрорежущие инструменты, подверженные воздействию сильных постоянных или переменных магнитных полей, проявляют увеличенную стойкость, что объясняется аустенитно-мартенситными превращениями в поверхностном вторично закаленном слое, полученном при заточке.

В подтверждение исследований Любена Димитрова ученые Узбекистана: А. А. Анцупов, Э. А. Умаров, С. М. Хасанов в своих работах также отмечают влияние магнитного поля при заточке инструмента на его стойкость при резании. Эксперименты проводили со сталью Р18, обрабатываемый материал – сталь 30ХГСА. При этом геометрические параметры резца следующие:  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ . Время резания  $t = 20$  мин. Измерили износ на задней поверхности. Режущий инструмент намагничивали непосредственно во время заточки. Эксперименты проводили двумя подачами:  $S = 0,11$  мм/об и  $S = 0,23$  мм/об.

Результаты экспериментов показали, что при намагничивании режущего инструмента износ уменьшается, причем наибольшее уменьшение износа наблюдается при намагничивании южной полярностью магнитного поля. Затем в этих же режимах были проведены эксперименты с намагничиванием резца после заточки. В этом случае наблюдали увеличение износа, по сравнению с намагничиванием во время заточки.

Отмеченные авторы выполнили так же исследование по влиянию намагничивания режущего инструмента на его стойкость при обработке парамагнитных материалов. Эксперименты проводили продольным точением на токарном станке. Обрабатывали титановый сплав марки БТ-3. В качестве режущего инструмента применяли резец из быстрорежущей стали Р18 со следующей геометрией:  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 7^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ . Во всех экспериментах подача оставалась постоянной  $S = 0,11$  мм/об. Эксперименты проводили двумя резцами при скоростях резания  $V = 12$  м/мин,  $V = 10$  м/мин. Стойкость при прямой подаче была намного больше, чем при обратной. Перед экспериментом резцы были магнитно обработаны.

По мнению авторов, в таких случаях при обратной подаче охлаждение действует негативно и в результате этого стойкость резко уменьшается. Для выяснения влияния охлаждения применяли дополнительные охлаждающие средства. В этом случае качественное соотношение между прямой и обратной подачей не изменилось.

Для того, чтобы выяснить, как влияет магнитное поле в таких случаях на стойкость инструмента, в последующих экспериментах намагничивали рабочую часть режущего инструмента северной и южной полярностью магнитного поля. При резании с прямой подачей с намагничиванием рабочей части режущего инструмента северным полюсом стойкость режущего инструмента понизилась в несколько раз, а южным полюсом, наоборот, увеличилась.

На основании выполненных опытов авторы вышеуказанных исследований делают вывод, что при обработке парамагнитного титанового сплава БТ-3 в указанных выше условиях, влияние термомагнитных явлений на процесс резания отличается от влияния их при обработке ферромагнитных материалов.

Следует подчеркнуть, что отмеченный выше вывод исследователей из Узбекистана не разделяют целый ряд исследователей, отмечающих, что температура резания для магнитно обработанных резцов и не обработанных не изменяется.

Важные исследования [3, 4] по определению влияния магнитной обработки на стойкость режущих инструментов были выполнены под руководством М. Т. Галея. При этом исследовали влияние наведенной полярности на стойкость отрезных резцов из стали Р18 при обработке стали 50. Установлен эффект повышения стойкости резцов из быстрорежущих сталей в 4 раза если режущая часть резца имеет северную полярность. Обработка концевых фрез и сверл производилась также северной полярностью (на режущей части) в поле напряженностью 18 кЭ. Повышение стойкости магнитно обработанных инструментов при обработке чугуна СЧ 18 составило 2,5...3,5 раза.

Особо следует отметить исследования по рассматриваемому вопросу, выполненные в Ташкенте [5–7] и Нижнем Новгороде [8–10] под руководством Г. И. Якунина и С. Н. Постникова.

В работах [3, 7], было установлено, что искусственное намагничивание быстрорежущих резцов значительно влияет на их стойкость и если рабочая часть резца имеет северную полярность, стойкость заметно возрастает. При обратном направлении намагничивания вдоль продольной оси резца его стойкость значительно снижается. Следовательно, стойкость является нечетной функцией направления намагничивания.

Так как одним из основных факторов, влияющих на стойкость режущего инструмента, является температура резания, было высказано предположение, что при намагничивании изменяется температура резцов и их стойкость за счет нечетных термомагнитных явлений. Анализ термомагнитных явлений позволил сделать предположение, что основной причиной изменения температуры резания является эффект Риги-Ледюка, который можно трактовать как поворот теплового потока под действием магнитного поля в сторону относительно направления градиента температуры при условии отсутствия магнитного поля. В упрощенном виде это выглядит следующим образом.

При наличии в процессе резания перпендикулярно передней поверхности градиента температуры носители электрических зарядов (электроны, дырки) диффузионно перемещаются из области высокой температуры в область более низкой. При этом они переносят также и тепловую энергию. Направление переноса, как свидетельствуют авторы, зависит от полярности резца.

Ряд фундаментальных работ выполнен в политехническом институте (г. Нижний Новгород) под руководством С. Н. Постникова. В этих работах на основе проведенных экспериментов анализируются факторы, влияющие на эффективность упрочнения инструмента из быстрорежущих сталей импульсным магнитным полем [8, 10].

Основу метода составляет локальное поглощение энергии на неоднородностях структуры стали, приводящее к ее перестройке. Упрочнение стали путем обработки импульсным магнитным полем (ОИМП) протекает по смешанному дислокационно-диффузионному механизму. Его характерной особенностью является сосуществование процессов диффузионной и микросдвиговой релаксации остаточных напряжений с ростом плотности дефектов, требующим выдержки инструмента (стабилизирующего отжига стали) при комнатной (25 °С) или повышенной (250...400 °С) температуре для получения термо-стабильной дефектной структуры. При высокой культуре заточных операций эффект ОИМП сохраняется после многократной переточки инструмента. Операция упрочнения выполняется на специализированных установках, легко осуществима технологически, не связана с присутствием токсичных сред и не требует значительных энергетических затрат и дополнительных производственных площадей.

По данным предприятий [11, 12], проводивших производственные испытания по оценке эффективности магнито-импульсной обработки инструмента (резцы, фрезы, сверла, метчики, развертки и др.), при резании различных материалов (жаропрочные сплавы, нержавеющие и конструкционные стали, стеклопластики и др.) стойкость инструмента после его упрочнения повышается, в среднем, в 1,3 ... 2,0 раза. Однако те же данные показывают, что в ряде случаев эффект обработки может приводить к более чем трехкратному повышению стойкости, отсутствовать либо проявляться в хрупкости быстрорежущей стали. Такой разброс результатов стойкостных испытаний потребовал выявить причины, из-за которых снижается эффективность упрочнения инструмента путем такой обработки.

**Выводы.** В заключение краткого анализа работ, выполненных по исследованию влияния магнитного поля на технологические характеристики режущих инструментов, следует отметить, что несмотря на большое их количество, они дают возможность лишь поверхностно судить о протекающих явлениях, режимах обработки, носят, подчас, рекламный характер, что не позволяет использовать их результаты для промышленного

применения. Применение метода магнитной и магнитно-импульсной обработки режущих инструментов и деталей машин, изготовленных из различных материалов, усложняется еще и тем, что для этого необходимы разработка и изготовление специальных установок в соответствии с габаритами и формой инструментов и деталей машин, которые будут подвергаться обработке.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чудновская Л. А. *Металловедение и термическая обработка металлов* / Л. А. Чудновская, М. Л. Бернштейн, Л. Г. Шевякова. – М., 1962. – № 6. – С. 36.
2. Димитров Л. П. Влияние намагнитиването на режущие инструмент верху трайността му. *Наука трудове*. Т. 13.2. св. / Л. П. Димитров // *Технология на машиностроение и металите*. – София : Земиздат, 1971. – С. 51.
3. Галей М. Т. Изучение влияния магнитного поля на стойкость быстрорежущего инструмента / М. Т. Галей, В. С. Ашихмин // *Станки и инструмент*. – 1981. – №4. – С. 31.
4. Галей М. Т. Повышение стойкости режущих инструментов путем магнитной обработки / М. Т. Галей // *Станки и инструмент*. – 1973. – № 5. – С. 31.
5. Влияние магнитного состояния быстрорежущих резцов на их стойкость / [Якунин Г. И. и др.]. – Изд. АНУ УССР. Сер. техн. наук. – 1967. – № 2. – С. 250.
6. Влияние намагнитченности резца и заготовки на их стойкость / [Якунин Г. И. и др.]. – Ташкентский политехнический институт : Сер. Машиностроение, изд. ФАН, 1966. – 96 с.
7. Якунин Г. И. Влияние термотока на стойкость быстрорежущего инструмента / Г. И. Якунин, Ф. Я. Якубов // *Труды Ташкентского политехнического института*, 1966. – Вып. 40. – С. 13-18.
8. Постников С. Н. Магнитная обработка быстрорежущего инструмента. В кн.: *Вопросы судостроения, серия технология и организация производства судового машиностроения* / С. Н. Постников, Ю. А. Бородин. – 1976. – Вып. 7. – С. 14-17.
9. Постников С. Н. Влияние импульсного магнитного поля на усталость быстрорежущих сталей / С. Н. Постников, А. Ф. Кунчик, А. А. Черников // *Электронная обработка материалов*. – 1981. – № 6. – С. 8-11.
10. Применение импульсного магнитного поля для упрочнения инструментов / [Постников С. Н. и др.] // *Обмен производственным и техническим опытом*. – 1987. – № 6. – С. 37-39.
11. Малыгин В. В. Магнитно-импульсная обработка штампов / В. В. Малыгин, Ю. Я. Вакуленко. – М. : Машиностроитель, 1984. – № 12. – С. 18.
12. Малыгин Г. В. Магнитное упрочнение сверл / Г. В. Малыгин, Ю. Я. Вакуленко. – М. : Машиностроитель, 1984. – № 3. – С. 84.

#### **Скирденко О.І., Клевцов К.М., Шарко А.В., Михайлик В.Д. СТАН ПИТАННЯ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНИХ ТА МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНИХ ПОЛЯХ**

*Одним з дуже простих методів підвищення зносостійкості ріжучих та інших видів інструментів є їх обробка в магнітних та магнітно-імпульсних полях. Така технологія не вимагає великих матеріальних витрат, мало енергоємна, але дозволяє підвищити його стійкість в 1,3 ... 1,5 рази.*

*Незважаючи на багаторічні дослідження впливу магнітних полів на фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів, технологічні характеристики магнітнооброблених інструментів ще досліджені недостатньо. Особливо це стосується до спеціальних видів ріжучих та інших видів інструментів.*

*Мета роботи – встановити основні напрямки модифікації інструментальних матеріалів у магнітних та магнітно-імпульсних полях для поліпшення їх властивостей.*

*Слід зазначити, що, незважаючи на велику кількість напрямків модифікації матеріалів, вони дають можливість лише поверхово стверджувати про явища, режими обробки, що не дозволяє використовувати їх результати для промислового застосування. Застосування методу магнітної та магнітно-імпульсної обробки ріжучих інструментів і деталей машин, виготовлених з різних матеріалів, ускладнюється ще й тим, що для цього необхідні розробка та виготовлення спеціальних*

установок відповідно до габаритів і форми інструментів та деталей машин, які будуть піддаватися обробці.

**Ключові слова:** магнітна обробка, інструмент, матеріал.

**Skirdenko O.I., Klevtsov K.M., Sharco A.V., Mikhailik V.D. STATE OF THE QUESTIO OF TOOL MATERIALS PROCESSING IN MAGNETIC AND MAGNETIC PULSE FIELDS**

*One of very simple methods of improving durability of cutting and other tools is their processing in magnetic and magnetic pulse fields. This technology does not require high material costs; it is low energy-consuming, but it improves durability up 1.3 ... 1.5 times.*

*Despite many years of study of the effect of magnetic fields on the physical and mechanical properties of tool materials, technological characteristics of magnetically treated tools have not been adequately studied; in particular, this refers to special types of cutting and other types of instruments.*

*The aim is to determine the basic directions of tool materials modification in magnetic and magnetic pulse fields to improve their properties.*

*It should be noted that despite the large number of ways of materials modification, they just allow to judge superficially occurring phenomena, processing conditions; their results do not give use for industrial application. Practicing of magnetic and magnetic pulse treatment of cutting tools and machine parts made of different materials is complicated because it requires the development and manufacturing of special arrangements in accordance with the size and shape of tools and machine parts to be processed.*

**Keywords:** magnetic treatment, tool, material.

© Скирденко О.І., Клевцов К.М., Шарко А.В., Михайлик В.Д.

Статтю прийнято  
до редакції 29.09.14