

УДК 621.9

**Кинденко Н. И.**

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ПОДВЕРГНУТОГО КОМПЛЕКСНОМУ УПРОЧНЕНИЮ**

Проблема износостойкости и долговечности инструмента имеет чрезвычайно большое значение. В настоящее время разработаны способы повышения стойкости инструмента, которые основаны на использовании сложных физических явлений как в процессе работы инструмента, так и при его изготовлении.

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

Ранее в работах [1–3] отмечалось, что улучшение свойств у ферромагнитных деталей, прошедших импульсную магнитную обработку достигается за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, вследствие чего увеличивается тепло- и электропроводимость материала.

Взаимодействие импульсного магнитного поля с инструментом из токопроводящего материала происходит тем интенсивнее, чем выше структурная и энергетическая неоднородность вещества.

Целью работы является повышение надежности и долговечности режущего инструмента, обработанного импульсным магнитным полем с последующим нанесением антифрикционных материалов.

При изготовлении реальных инструментов в материале неравномерно концентрируется некоторое количество избыточной энергии, с увеличением которой возрастает вероятность разрушения инструмента.

Применяя магнитную обработку можно значительно уменьшить избыточную энергию материала, связанную с концентрацией внутренних и поверхностных напряжений в инструменте, и снизить до минимума вероятность его поломки.

Для каждого материала существует оптимальное значение внешнего импульсного магнитного поля, при котором концентрация напряжений в материале, а, следовательно, и избыточная энергия предельно уменьшается, вследствие чего повышается надежность инструмента.

Для каждой стали существует определенная величина напряженности импульсного магнитного поля, а, следовательно, и величина магнитной энергии, которая поглощается материалом в течение времени обработки и максимально улучшает его механические и технологические свойства. Причем между повышением стойкости инструмента и магнитной проницаемостью существует корреляционная зависимость.

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

Быстрорежущая сталь, как любое твердое тело, обладает упругим внутренним полем, обусловленным реальной дислокационной структурой. С наложением магнитного поля на материал на это собственное упругое поле накладывается упругое поле, вызванное магнито-стрикционной деформации. Взаимодействие упругого поля, обусловленного магнито-стрикцией стали, с упругим полем ее реальной дислокационной структурой приводит к появлению локальных перенапряжений. В этих местах резко возрастает вероятность термофлуктуационного разрыва межатомных связей.

В тех местах, где эти локальные перенапряжения превышают пределы упругости материала, формируются очаги пластической деформации. Именно здесь интенсивно протекают

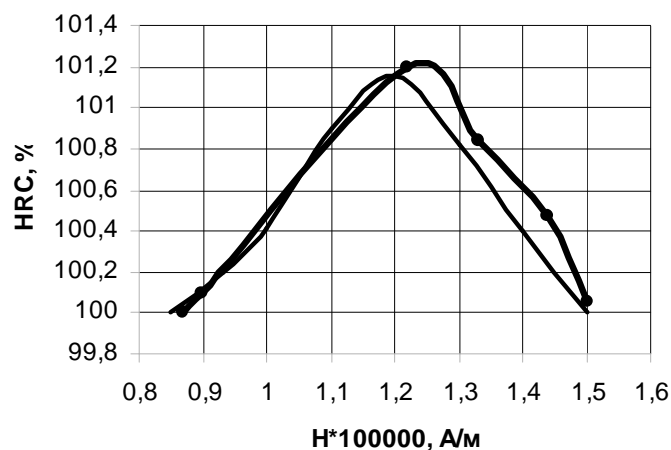
процессы размножения и перемещения дислокаций. С увеличением плотности дислокации, когда лес дислокаций все более затрудняет их собственное движение в других плоскостях скольжения, сталь претерпевает своеобразный наклеп, что выражается в изменении параметра решетки мартенсита и снижении температуры обратного мартенситного превращения.

Упрочнение тесно связано с работой намагничивания единицы объема инструментального материала, а, следовательно, и с величиной напряженности магнитного поля ( $H$ ).

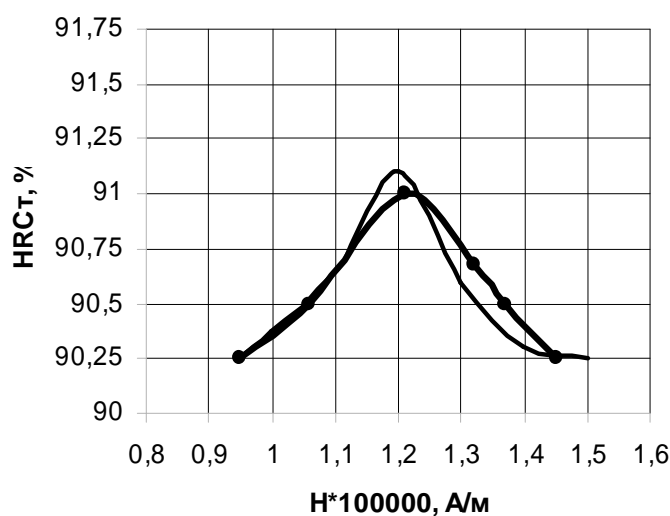
Исследования показали, что относительно слабые магнитные поля не приводят к изменению значений твердости (HRC) и теплостойкости (HRC<sub>T</sub>). Необходимо отметить, что значение твердости и теплостойкости для каждого значения поля замерялись в течение ряда суток, вплоть до окончания изменения его значений.

Результаты исследований показаны на рис. 1.

Значения твердости и теплостойкости имеют максимум при напряженности поля  $H = 1,2 \cdot 10^5$  А/м. Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля приводит к снижению твердости и теплостойкости, и при  $H = 1,6 \cdot 10^5$  А/м эти параметры практически не отличаются от твердости и теплостойкости в исходном положении.



а



б

Рис. 1. Зависимость изменения твердости и теплостойкости стали Р6М5 от напряженности магнитного поля

Установлено, що найбільше підвищення стойкості магнітнооброботанного інструмента і найбільше підвищення значень твердості і теплостойкості отримані при одних і тих же значеннях робочого поля  $H = 1,2 \cdot 10^5$  А/м.

Максимальне підвищення твердості і теплостойкості быстрорежущей сталі при напруженості поля  $H = 1,2 \cdot 10^5$  А/м відбувається за рахунок магнітострикційного субструктурного упрочнення.

Всі спроби проводились з частотою слідовання імпульсів 5 Гц, так як варіювання частоти імпульсів не впливає на зміну твердості досліджуваних сталей.

Час витримки інструмента в процесі магнітної обробки є важливим елементом режиму магнітної обробки. Для быстрорежущих сталей достатньо часу впливу магнітного поля впродовж 60 с, щоб досягти найбільшого збільшення твердості матеріала.

Динаміка старіння досліджувалась на зразках з быстрорежущей сталі Р6М5. Закінченням часу старіння вважалось таке час, після закінчення якого припинялось змінювання твердості зразків.

Дані про вплив часу старіння зразків після магнітної обробки наведено на рис. 2. Ці дані показують, що зростання твердості зразків з сталі марки Р6М5 починається після 6 годин обробки і через 24 години після цієї операції досягає найбільших значень.

Підвищення стойкості інструмента відбувається не за рахунок недоліків термічної обробки, а за рахунок покращення властивостей інструментального матеріала і в першу чергу таких експлуатаційних властивостей як твердість і теплостійкість.

Дослідження поведінки антифрикційних матеріалів, як однокомпонентних смазок, деяких видів поверховно-активних речовин (ПАВ) для інструмента в поєднанні з обробкою в імпульсному магнітному полі послужили основою для постановки і рішення задачі про можливість застосування антифрикційних і ПАВ покриттів на інструментах.

Теорія смазочного впливу антифрикційних покриттів ґрунтується на даних внутрішнього будови, фізико-хімічному взаємодії окремих компонентів, що входять в покриття, з матеріалом інструмента, оброблюваним матеріалом і зовнішнім середовищем.

Найбільше значення якості смазочних речовин отримали поверховно-активні речовини, і складні тверді матеріали, що мають внаслідок своєї кристалічної структури низький коефіцієнт тертя.

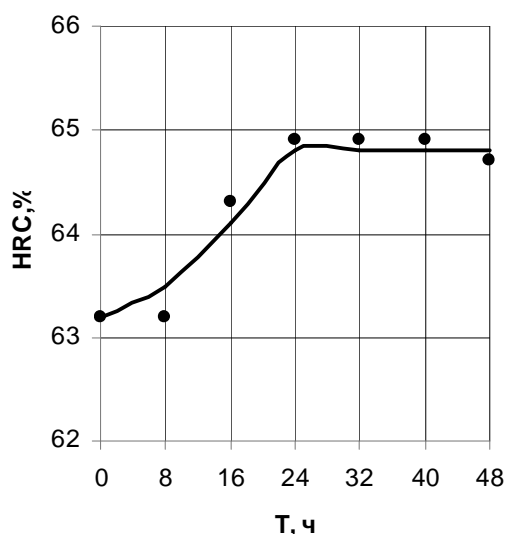


Рис. 2. Залежність твердості сталі Р6М5 від часу старіння після магнітної обробки

Были выбраны смазки, обладающие хорошей антифрикционностью с соответствующей структурой кристаллической решетки, высокой термостойкостью, высоким сопротивлением тангенциальным нагрузкам и, кроме того, достаточной сцепляемостью с поверхностью инструментальных сталей и сплавов.

Эпиламирующий состав представляет собой прозрачную, бесцветную, негорючую, нетоксичную, пожаровзрывобезопасную жидкость с плотностью  $1,57 \text{ г/см}^3$ .

В качестве твердых технологических смазок (ТТС) в работе были использованы ТТС структурно разработанные в Одесском политехническом институте.

Технологические твердые смазки представляют собой связывающую основу, в состав которой в определенном соотношении введены антифрикционные и адгезионные компоненты, а также ряд поверхностно-активных веществ.

На поверхности инструмента, погруженного в эпиламирующий состав, адсорбируются поверхностно-активные вещества в виде мономолекулярного или близкого к нему слоя. ПАВ имеют молекулы с ассиметричным строением, состоящие из полярной и неполярной частей. Полярные группы образуют на поверхностях твердого тела прочно связанные с ним ориентированные слои.

Образовавшаяся пленка предохраняет рабочую поверхность инструмента и обрабатываемой детали от непосредственного контакта, что способствует значительному снижению сил трения и поверхностной энергии в процессе обработки. Эпилам прочно удерживается на поверхности, обладает высокими антифрикционными свойствами, предотвращает развитие микротрещин, повышает усталостную прочность и износостойкость.

Нанесение твердых технологических смазок на инструмент способствует улучшению обрабатываемости материалов и режущих свойств используемого инструмента. Механизм действия ТТС обуславливается, с одной стороны, физическими явлениями адсорбции, диспергирования, пластифицирования и адгезии, с другой – химическими превращениями, протекающими в тонких поверхностных слоях контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Нанесение антифрикционного покрытия на рабочую поверхность инструмента после его обработки в импульсном магнитном поле, способствует тому, что, адсорбируясь на твердой поверхности в виде тонкого слоя, антифрикционная смазка резко снижает микротвердость, поверхностные напряжения, а, следовательно, и поверхностную энергию. Это вызвано тем, что при импульсных электромагнитных воздействиях переходной слой твердой фазы становится более активным в физико-химическом отношении, с увеличением энергии воздействия молекул смазок с адсорбентом увеличивается прочность антифрикционного покрытия.

Сравнительные стойкостные испытания по исследованию влияния твердых технологических смазок и эпиламы на стойкость магнитообработанного инструмента проводились на операции сверления отверстий.

Для исключения возможных систематических ошибок в результатах испытаний проводилась рандомизация.

Испытания инструмента оценивались средним количеством полученных отверстий, количеством выкрашиваний и поломок, количеством остановок оборудования в смену.

Сравнение результатов лабораторных испытаний выполнялось на основе статистических методов их анализа и обработки. Схема такого сравнения в предположении, что закон распределения стойкости близок к нормальному, включая статистическую оценку параметров распределения, статистическую проверку гипотез и, наконец, определение по средним коэффициентам изменения износа  $K_h$  по отношению к исходному уровню.

Значимость фактора (обработки инструмента) и статистическое отличие средних значений его уровней (методов обработки) определяли с достоверной вероятностью 0,95.

Статистическая проверка стойкостных испытаний сверл, обработанных различными методами, подтвердила значимое влияние любого из использованных методов на износ

инструмента. Во всех сериях опытов размеры выборок оказались равными числу повторов, что свидетельствует об удовлетворительном качестве инструмента и нормальных условиях его эксплуатации.

Применение комбинированной обработки магнитообработанного инструмента путем эпиламирования и применения твердых технологических смазок приводит к повышению износостойкости инструмента от 1,5 до 2,0 раз.

Работоспособность инструмента из быстрорежущих сталей при достаточно высоких скоростях резания определяется способностью быстрорежущей стали сопротивляться необратимым, динамически протекающим рекристаллизационным процессам вблизи задней поверхности.

Полученные данные свидетельствуют о том, что сверла, обработанные в импульсном магнитном поле, и применение твердых смазок замедляет развитие очагов износа передней и задней поверхностей инструмента. Отмечено практически полное отсутствие проточин и усов износа у краев контактных площадок инструмента, где наиболее сильно реализуется химико-окислительные виды износа. Отсутствие дополнительных очагов износа у краев контактных площадок сверла положительно влияет на стойкость сверла, так как при этом устраняются источники интенсивного трения и тепловыделения.

Анализ сверл из быстрорежущей стали Р6М5 показывает, что с увеличением скорости резания стойкость инструмента обработанного ОИМП становится заметно больше по сравнению со стойкостью сверл при обычном сверлении.

Одновременное рассмотрение соотношения времени работы сверл, обработанных ОИМП и применением твердых смазок до разрушения, к периоду стойкости сверл показало, что непосредственной причиной роста эффективности инструмента из быстрорежущей стали с ОИМП на больших скоростях резания является резкое увеличение этого соотношения по мере роста скорости резания.

Первопричиной улучшения эксплуатационных характеристик сверл, подвергнутых магнитной обработке, является изменение свойств инструментального материала. Оно происходит за счет магнотрикссионного упрочнения быстрорежущей стали, что выражается в повышении ее теплостойкости.

Известно, что процесс рекристаллизации в быстрорежущей стали является главной причиной разрушения инструмента на стадии катастрофического износа при резании.

Для оценки влияния ОИМП на содержание этих процессов были проведены специальные опыты. Оценка эффективности магнитной обработки инструмента проводилась при помощи коэффициента повышения стойкости ( $K_m$ ), под которым понимается отношение:

$$T_m / T_{исх.},$$

где  $T_m$  – стойкость инструмента после обработки в импульсном магнитном поле;

$T_{исх.}$  – стойкость того же инструмента в исходном состоянии.

Исследование влияния напряженности магнитного поля на коэффициент повышения стойкости сверл Р6М5 проводилось во всем диапазоне полей, создаваемых установкой ОИМП. В качестве критерия затупления принимался износ по задней грани  $h_3$ . У сверл  $h_3$  на расстоянии 0,5 мм от периферии сверла принимался 0,3 мм.

Зависимость коэффициента повышения стойкости от напряженности магнитного поля (рис. 3) строилась на основании закономерностей износа по задней грани от времени работы инструмента в исходном состоянии и после его магнитной обработки. Напряженность поля при этом менялась в диапазоне  $0,4 \cdot 10^5$  и  $1,8 \cdot 10^5$  А/м. Время выдержки инструмента в индукторе было 1 мин. Сталь 12Х18Н10Т. Сверло Р6М5, Ø6,2 мм. Геометрия:  $\alpha = 9^\circ$ ,  $\alpha_1 = 18^\circ$ ,  $2\theta = 125^\circ$ ,  $\psi = 55^\circ$ . Режим резания:  $V = 7,8$  м/мин;  $S = 0,14$  мм/об. Характер поля – импульсное.

Из рис. 3 следует, что воздействие магнитного поля напряженностью около  $0,5 \cdot 10^5$  А/м не привело к повышению стойкости сверла. Затем коэффициент повышения стойкости начал расти пропорционально значению напряжения магнитного поля и достиг максимума при  $H \approx 1,2 \cdot 10^5$  А/м. Дальнейшее увеличение значений  $H$  привело к снижению  $K_T$  и при напряженности поля  $H = 1,75 \cdot 10^5$   $K_T = 1,0$ , т. е. эффект повышения стойкости равен нулю.

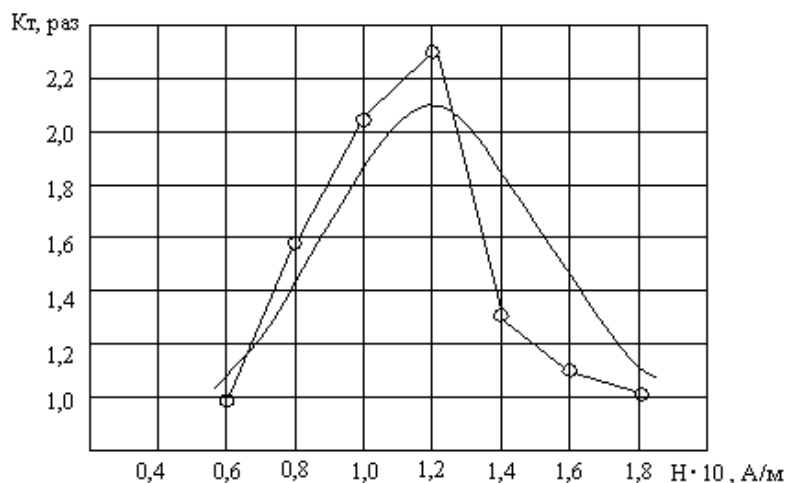


Рис. 3. Зависимость коэффициента повышения стойкости быстрорежущих сверл

Повышение значений напряженности поля за  $1,75 \cdot 10^5$  А/м при очень крутом переднем фронте импульса приводило к снижению стойкости инструмента по сравнению с исходным состоянием, а механизм износа имел характерные признаки хрупкого скалывания. Дальнейшее увеличение напряженности поля приводило к выкрашиванию инструмента во время работы.

### ВЫВОДЫ

В результате воздействия импульсного магнитного поля происходит изменение физико-механических свойств быстрорежущих сталей, возрастает твердость и инструментальный материал становится более однородным по структуре.

Для устойчивого проявления эффекта магнитной обработки инструмента необходимо учитывать значение напряженности магнитного поля, время выдержки инструмента в рабочем индукторе и время старения инструмента после магнитной обработки.

Слой поверхностно-активных веществ на поверхности режущего инструмента предотвращает развитие микротрещин, повышает усталостную прочность и износостойкость.

Применение магнитообработанного инструмента в комплексе с твердой технологической смазкой или с поверхностно-активными веществами стабилизирует процесс обработки и способствует улучшению обрабатываемости конструкционных материалов и режущих свойств используемого инструмента.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В. Л. Исследование влияния параметров магнитно-импульсного воздействия на твердость и глубину поверхностного упрочнения стали Р6М5 / В. Л. Володин, Л. И. Гуревич, Т. В. Володин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – М., 2008. – № 10. – С. 44–46.
2. Гончарова А. С. Магнитно-импульсное упрочнение инструментов / А. С. Гончарова // Молодая наука XXI века : сб. науч. работ Междунар. студ. науч. конфер. – Краматорск, 2010. – Ч. 1. – С. 21–24.
3. Овчаренко А. Г. Комбинированная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента / А. Г. Овчаренко, А. Ю. Козлюк, М. О. Курепин // Технология машиностроения. – М., 2010. – № 9. – С. 26–28.