

А.П. Малюшевский, П.П. Малюшевский, В.Е. Рябцев, А.П. Малюшевская, Т.В. Хейдал

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЕРМАНЕНТНОЙ МАРКИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (Часть IV. Разработка варианта способа считывания марки)

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
просп. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина
International Pipe Technology & Management (Norway)*

Ранее авторами был упомянут один из возможных способов считывания пятен маркировок – по изменению микротвердости поверхности. Способ надежный, но неудобный, исходя из того, что маркировку с большой энергией в импульсе (измеряемую в килоджоулях), обеспечивающей большую площадь пятна маркировки, явно следует заменить маркировкой с малой энергией в импульсе для малой площади пятна маркировки.

Изменить локально структуру конструкционной стали в пятнах маркировки диаметром всего 2–3 мм можно при использовании поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составе рабочей жидкости технологической разрядной камеры [1–3] и при минимизации энергии в электрическом разряде до единиц джоулей. Активность воздействия на металл следует усилить многоимпульсностью в одну точку маркировки, то есть генерируя пачку импульсов и направляя ее в указанное место на маркируемой трубе или любом другом объекте.

Были выбраны следующие параметры электроразрядной обработки: $U_0 = 3–7$ кВ; $W_0 = 5–10$ Дж; частота посылок импульсов в пачке – 50–80 Гц; длительность пачки – 0,05–0,5 с; длительность паузы между пачками разрядных импульсов – 0,01–1 с. Последние два параметра имеют важнейшее технологическое значение. Маркировались отрезки труб из стали L-80 длиной 150 мм.

Электродная система миниатюризировалась – коаксиально-кольцевой разрядный промежуток ее имел радиус 1,5 мм и выбрасывал на поверхность маркируемой детали череду струек разрядной плазмы и рабочей жидкости, сопровождаемых ударными волнами.

Был рассчитан и подобран такой химический состав поверхностно-активных веществ, который обеспечил значительное изменение структуры металла в пятнах маркировки, имеющих всего 2 мм в диаметре, а их компоненты активизировались электрическим разрядом.

Образцы после обработки разрезали по центру пятна маркировки и изготавливали шлифы, на которых измеряли микротвердость по глубине слоя обработки с помощью микротвердомера ПМТ-3. В данном случае замеры микротвердости производили в центральной зоне образцов по оси. При этом пятно отличалось существенным снижением микротвердости металла строго в площади образовавшихся пятен маркировки.

На рис. 1 приведены зависимости, построенные по результатам этих замеров. Хорошо видно, что при многоимпульсном нагружении образца без нанесения на его поверхность ПАВ микротвердость поверхности плавно повышается с ростом числа нагружающих воздействий (кривая 1). Затем зависимость выходит на насыщение. Нанесение на поверхность марки ПАВ вызывает существенное снижение микротвердости поверхности при первых импульсах нагружения, а с ростом их числа микротвердость повышается (кривая 2), однако остается заметно ниже, чем при деформации без применения ПАВ. Наблюдаемый переход от пластифицирующего к упрочняющему эффекту свидетельствует о том, что при определенном количестве импульсов интенсивность генерирования дислокаций превосходит возможности их аннигиляции за пределы объема металла, так как они блокируются двойниковыми прослойками, образовавшимися в результате предыдущих актов нагружения.

Еще интереснее результаты экспериментов, полученные при введении адсорбционно-активного вещества непосредственно в технологическую среду (кривая 3). Количество вводимого вещества составляло 2–3% от общего объема рабочей жидкости. Такой прием можно рассматривать как непрерывное возобновление ПАВ в процессе обработки. Это усиливает пластифицирующий эффект и обеспечивает его проявление при большем числе воздействующих на пятно маркировки импульсов. Соответственно изменения структуры металла здесь более глубокие.

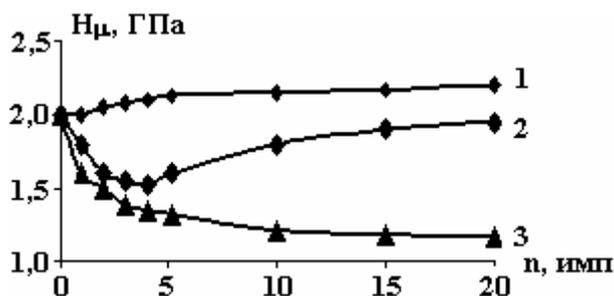


Рис. 1. Изменение микротвердости H_{μ} поверхностных слоев трубных образцов из стали L-80 при варьировании количеством разрядных импульсов (пояснения в тексте)

Физические предпосылки выбора метода считывания марки. Поскольку в пятнах маркировки происходят необратимые изменения физико-химических и физико-механических свойств, то с учетом того, что практически все стали – ферромагнетики, можно предположить возникновение после плазменной обработки заметных изменений магнитных характеристик материала в области пятен марки. Такие изменения могут обнаруживаться компактными, мобильными приборами и легко преобразовываться в электрические сигналы, удобные для компьютерной обработки.

Следовательно, проблему считывания пятен маркировки можно решать, используя один из методов магнитных измерений, поскольку зона марки действительно имеет существенно измененные электрическими разрядами долговременные магнитные характеристики.

Характерная особенность ферромагнетиков состоит в очень большой величине магнитной проницаемости μ_r , которая может достигать значений 10^5 . Кроме того, μ_r находится в сложной зависимости не только от мгновенного значения напряженности магнитного поля H , но и от предыстории материала. Поэтому при характеристике ферромагнетика часто указывают не величину проницаемости, а представляют зависимость магнитной индукции B от H в виде полного цикла кривой намагничивания.

Иногда необходимо применять дифференциальную магнитную проницаемость ($\mu_d = dB/dH$), например в тех случаях, когда напряженность поля колеблется с небольшой постоянной амплитудой.

Для всех ферромагнетиков характерно явление насыщения намагниченности I_s при достаточно высоких полях. Можно считать, что насыщения достигает и магнитная индукция B .

Кривая намагничивания различна для разных веществ и, кроме того, зависит от многих факторов, например от предварительной термической и механической обработки, которая определяет структуру кристалла, от наличия загрязнений, внутренних напряжений и т.п.

С намагничиванием ферромагнитного тела связано изменение его формы – явление, называемое магнитострикцией [4–6].

В современной теории магнетизма магнитострикцию рассматривают как результат проявления основных типов взаимодействий в ферромагнитных телах: электрического обменного и магнитного. В соответствии с этим возможны два вида различных по природе магнитострикционных деформаций кристаллической решетки: за счет изменения магнитных (диполь-дипольных и спин-орбитальных) и обменных сил.

Магнитострикцию относят к так называемым четным магнитным эффектам, так как она не зависит от знака магнитного поля. Величина, знак и графический ход зависимости магнитострикции от напряженности поля и намагниченности зависят от структурных особенностей образца (кристаллографической текстуры, примесей посторонних элементов, термической и холодной обработки). С магнитострикцией связаны различные аномалии упругости в ферро-, ферри- и антиферромагнетиках. Резкие аномалии модулей упругости и внутреннего трения, наблюдаемые в этих веществах в районе точек Кюри и Нееля и других фазовых магнитных переходов, обязаны влиянию магнитострикции, возникающей при нагреве. Кроме того, при воздействии на ферро-, ферри- и антиферромагнитные

тела упругих напряжений в них даже при отсутствии внешнего магнитного поля происходит перераспределение магнитных моментов доменов (в общем случае изменяется и абсолютная величина самопроизвольной намагниченности домена), что, очевидно, должно проявиться в зоне каждого пятна маркировки независимо от причины возникновения (упрочнение или разупрочнение).

Внутри материала области однородной спонтанной намагниченности называют областями Вейсса, или доменами. Отдельный кристаллит в металле содержит большое число доменов, а перестройка структуры металла изменяет общую плотность и ориентацию доменов. В домене содержится примерно 10^{13} атомов.

Весь металл внутри домена намагничивается только в одном направлении – обычно вдоль одной из главных кристаллических осей. В ненамагниченном металле намагниченность отдельных доменов равномерно направлена по (против) любой из осей кристалла, по-видимому, образуя пространственные циклические доменные семейства. В нашем случае в результате воздействия плазмы разряда и среды его воспроизводства происходят локальное, резко выраженное изменение структуры металла и соответственно локальная перестройка доменных семейств.

В нашем случае домены в пятнах маркировки и в основном металле должны вести себя по-разному: пятна маркировки локально либо больше намагничиваются, либо наоборот – размагничиваются. В любом случае картина магнитного поля образца в зоне постановки пятен маркировки должна заметно отличаться от поля основного материала. Существующие предпосылки резкого изменения магнитных характеристик материала в пятнах маркировки на фоне тех же свойств основного материала должны их “делать видимыми” при использовании магнитно-упругих датчиков.

Выбор и обоснование типа датчика-адаптера. Следует сразу же оговорить, что по своему назначению наши измерения по считыванию маркировки следует отнести к третьей группе – “Технические измерения”. Более того, вполне возможно определение наличия пятна в марке без получения конкретной величины, например остаточных напряжений. Иными словами, нам нужна идентификация “пятно–просвет” или, еще проще, “да–нет” относительно поля марки. Сигнал следует приводить к стандартному виду, удобному для дальнейшей переработки и хранения, преобразуя в электрический. Изменение свойств вещества, отраженное в виде электрических импульсов, сможет фиксироваться в памяти компьютера, которая будет их накапливать, преобразовывать, сортировать, отбирать, а по мере надобности – и выдавать в виде, например, цифровой распечатки.

Всякое измерение любой физической величины сводится к экспериментальному определению отношения данной величины к подобной, принятой за единицу. Так как само понятие “больше–меньше” применимо лишь к однородным величинам, очевидно, что и сравнивать можно только однородные величины – это магнитные свойства не подвергнутого воздействию плазмы разряда металла в сравнении со свойствами металла в пятне маркировки.

Наш первичный измерительный преобразователь (адаптер) относится к группе преобразователей неэлектрических величин в электрические. По виду естественной выходной электрической величины он может быть или в подгруппе генераторных (естественной выходной величиной является э.д.с. или ток), или параметрических (с естественной выходной величиной в виде изменения индуктивности L).

Для решения поставленной задачи необходимо использование в качестве первичного датчика-адаптера магнитоупругих преобразователей. Они могут отвечать всем изложенным требованиям.

Датчик. В целом действие прибора основано на использовании магнитоупругого эффекта, проявляющегося в ферромагнитных материалах под воздействием остаточных механических напряжений, возникающих в области каждого пятна маркировки [4]. При этом в направлении действия напряжений изменяются магнитные характеристики металла. В пятне изменяется и структура материала, существенно отличаясь от основного. Эти изменения контролируются и фиксируются разработанным прибором и накладным магнитоупругим датчиком.

Принцип действия магнитоупругих преобразователей известен давно и основан на изменении магнитной проницаемости μ ферромагнитных тел от возникающих в них механических напряжений $\sigma_{\text{мех}}$ (магнитоупругий эффект), а также изменений микроструктуры.

Магнитоупругий эффект неоднозначен. Для одного и того же материала под действием механических напряжений магнитная проницаемость в слабых полях может возрастать, в то время как в сильных – уменьшаться. Естественно, где-то существует переходная зона, сравнительно нечувствительная к действию магнитного поля определенной величины. (Кстати, в марке для идентификации безразлично, уменьшилась или увеличилась магнитная проницаемость, поскольку это сравнительные изменения по отношению к основному материалу, не подвергнутому упрочнению). Следовательно, важен выбор зондирующего электромагнитного поля датчика.

Относительную чувствительность магнитоупругого материала можно характеризовать коэффициентом тензочувствительности

$$k = (\Delta\mu/\mu) / (\Delta l/l) = \epsilon_\mu/\epsilon_l.$$

Относительной магнитоупругой чувствительностью материала называют относительное изменение магнитной проницаемости $\Delta\mu/\mu$, вызываемое единицей механических напряжений, то есть величину $s = (\Delta\mu/\mu) / \sigma_{\text{мех}}$.

Магнитоупругие преобразователи обычно делят на две основные группы. К первой относятся преобразователи, в которых используется изменение магнитной проницаемости чувствительного элемента в одном направлении. Ко второй – в которых используется изменение магнитной проницаемости одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях или, иначе говоря, магнитная анизотропия материала чувствительного элемента. Для нас и в том и в другом случае необходим разрыв магнитопровода, в который помещается испытуемый материал. Материал маркируемого изделия становится частью магнитоупругого преобразователя, то есть датчика-адаптера.

Преобразователи и той и другой группы могут работать либо как переменное индуктивное сопротивление, величина которого определяется уровнем механических напряжений, либо как трансформаторные преобразователи с переменной взаимоиндуктивностью между обмотками [7].

Однако существует проблема. Из-за начальной магнитоанизотропии материалов К-55 и L-80, из которых изготовлены трубы, даже при отсутствии пятен упрочнения (аналог отсутствия нагрузки) все же на датчик наводится некоторая э.д.с. Для ее уменьшения в датчиках с магнитопроводом из листового материала чередуют листы с взаимно перпендикулярными направлениями проката, кроме этого, специальным образом располагают отверстия, выбирая угол между обмотками, используют дополнительную обмотку или магнитный шунт. Это сильно усложняет решение задачи изготовления и отладки надежного датчика и оправдано только в тех случаях, когда необходимо получить в результате измерения численные значения изменения μ или $\sigma_{\text{мех}}$.

Нашу задачу можно упростить, поскольку требуется получить только сигнал “да” или “нет” в поиске пятна упрочнения на марке, резко отличающегося по свойствам от основного материала трубных изделий. Поэтому целесообразно выбрать преобразователь, работающий как переменное индуктивное сопротивление с катушкой, снабженной разомкнутым магнитопроводом П-образной формы. Замыкание магнитопровода должно происходить через ферромагнитный материал трубного изделия с нанесенными пятнами маркировки.

Одновременно обычными методами решались задачи измерительного кабеля, соединяющего адаптер с прибором считывания.

Приборная реализация предлагаемого способа считывания знаков маркировки. Магнитоупругий метод определения напряжений и деформаций использует простую связь изменения магнитной проницаемости с приложенными напряжениями:

$$\Delta\mu/\mu = \lambda_s \mu_0 \sigma / \pi,$$

где μ – магнитная проницаемость; λ_s – магнитострикция насыщения; σ – напряжение.

Из этой формулы следует, что относительное приращение магнитной проницаемости пропорционально σ .

Положительным свойством магнитоупругого эффекта является его высокая проявляемость в ферромагнитных материалах под воздействием напряжений, которая здесь в сотни раз больше, чем, например, изменение эффекта упругости.

Наибольшую чувствительность имеют ферромагнетики, обладающие большой магнитной восприимчивостью и одновременно высокими магнитострикционными характеристиками. Из-за высокой чувствительности к происходящим изменениям в образце магнитоупругий метод фиксирует даже тонкий переход от упругих деформаций к самым ранним стадиям пластических, тогда как, например, на механической диаграмме этот момент не всегда удается заметить.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух отдельных узлов – электронного блока и магнитоупругого датчика, объединенных в измерительную схему электрическим кабелем с разъемом.

Функциональная схема прибора представлена на рис. 2.

Усилитель разностного сигнала формирует сигнал, пропорциональный величине напряжений на вторичных обмотках трансформаторов датчиков.

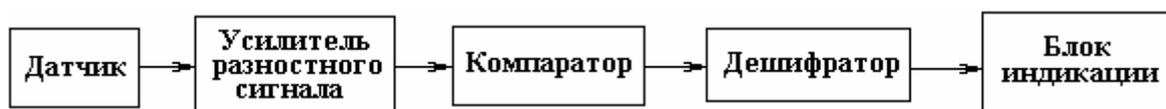


Рис. 2. Блок-схема прибора считывания

Подключение компаратора к выходу усилителя повышает помехозащищенность устройства и исключает ложные срабатывания ввиду неравномерности свойств материала образца. На выходе компаратора – последовательность импульсов, возникающих при перемещении оператором датчика вдоль маркированного участка образца.

Эти импульсы преобразуются дешифратором в сигналы, подаваемые на блок индикации. Последний отображает информацию, заложенную в маркеры, в удобном виде для считывания оператором.

В качестве детектора участков, на которые воздействовал электрический разряд, применяется электромагнитный датчик, магнитная цепь которого разомкнута. Замыкание магнитной цепи происходит при приближении датчика к исследуемому образцу стали. Ввиду различия в магнитных свойствах участков, подвергавшихся электроразрядному воздействию и не получивших такого воздействия, изменяются и магнитные свойства датчика на различных участках исследуемой поверхности. Материалом магнитного сердечника датчика выбрана электротехническая сталь. Это позволяет говорить о сходном характере магнитных свойств материала сердечника и исследуемых образцов. При таком выборе изменение свойств материала под воздействием электрического разряда имеет ярко выраженное влияние на свойства магнитной цепи "сердечник – образец". Для получения возможности количественной оценки этих изменений на магнитном сердечнике датчика размещается обмотка, на которую подается сигнал от генератора переменного тока. Сигнал, используемый для принятия решения о наличии маркировочной метки на образце, снимается со второй обмотки, намотанной на том же сердечнике. Этот сигнал подается на выпрямитель, нагруженный балластным резистором.

Генератор вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой около 200 Гц. Величина выбрана из тех соображений, что на более высоких частотах (единицы кГц) ухудшаются магнитные свойства сталей, что может привести к невозможности отслеживания наличия меток. С другой стороны, понижение рабочей частоты генератора влечет за собой необходимость увеличивать габариты магнитного сердечника датчика и обмоток, расположенных на нем [8, 9].

Схема подключения датчика к генератору и балластному резистору реализует обычную схему однотактного преобразователя с обратным включением выпрямительного диода. Известно, что напряжение на нагрузке такого преобразователя (в разработанном приборе это балластный резистор) пропорционально энергии, запасенной в датчике, то есть его индуктивности. Последняя в свою очередь зависит от магнитных свойств цепи "сердечник – образец". Следовательно, отслеживая изменение напряжения на вторичной обмотке датчика, можно судить о наличии меток на образце.

Генератор, формирующий меандр с частотой 200 Гц, собран на элементах IC1A, IC1B. Длительность коротких импульсов на выходе формирователя на IC1C и IC1D выбрана такой, чтобы даже в случае удаления датчика от исследуемого образца его сердечник не входил в режим насыщения. Ключевой элемент на транзисторах подает импульсы на первичную обмотку. К вторичной обмотке подключен детектор уровня сигнала, напряжение с выхода которого подается на инвертирующий вход компаратора. На инвертирующий вход подается опорное напряжение, уровень которого регулируется потенциометром [8, 9]. Питание на элементы схемы подается через отдельный разъем. Напряжение питания – 6 В; ток, потребляемый от источника питания, колеблется в пределах 40–60 мА в соответствии с режимом измерений.

Экспериментальная проверка. В ходе экспериментов с различными образцами были получены закономерности в изменении напряжения на выходе детектора уровня сигнала (рис. 3, таблица).

На рис. 3 приняты обозначения: 0 – участок с меткой; 1, 2, 3, 4 – участки без метки в радиусе 5–25 мм от ближайшей точки.

Напряжение, измеренное в таком режиме, в таблице обозначено U_d . Напряжения, измеренные в других точках, обозначены соответствующими цифровыми индексами.

Результаты измерений показали значительное отличие значения напряжения U_d в точках, не имеющих маркировки, и на участках с нанесенной маркировкой для образцов из стали К-55, содержание углерода в которой относительно велико и соответственно велико изменение магнитных свойств.

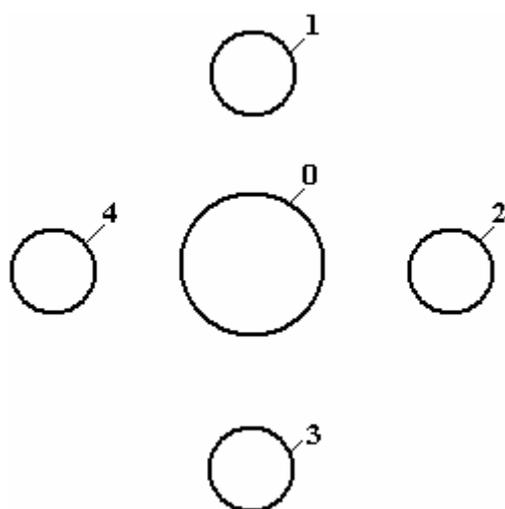


Рис. 3. Схема измерений

Номер образца	U_d , В					
	0	1	2	3	4	х
1	1,83	1,78	1,60	1,60	1,62	2,90
2	1,75	1,56	1,58	1,62	1,60	2,90
3	1,96	1,76	1,85	1,72	1,63	2,90
4	2,09	1,74	1,74	1,77	1,74	2,90

Существенно менее контрастны пятна маркировки на трубчатых образцах из стали L-80, чего следовало ожидать при сравнительно небольшом изменении их магнитных свойств. В стали L-80 мало углерода, но много хрома, который сглаживает процесс коренной локальной перестройки микроструктуры. Вторым отрицательным фактором для образцов группы 5 и при маркировке, и при считывании являлось наличие лакокрасочного покрытия.

В целом результаты измерений показали значительное отличие значения напряжения U_d в точках, не имеющих маркировки, и на участках с маркировкой.

Благодаря такому поведению материала образцов под воздействием электровзрыва реализуется несложный алгоритм работы прибора: подстройкой уровня опорного напряжения потенциометром добиваются того, чтобы в местах с нанесенной маркировкой напряжение на инвертирующем входе компаратора становилось меньше напряжения на выходе детектора уровня сигнала. При этом на выходе компаратора устанавливается уровень логической "1" и светодиод-датчик гаснет. В то же время значительный разброс значений напряжения при переходе от образца к образцу и даже в пределах одного из них при переходе от участка к участку дает основание для наличия маркировки, перехода к дифференциальной схеме измерения напряжения от двух идентичных датчиков с последующим принятием решения о наличии-отсутствии маркировки по разностному сигналу, полученному от этих датчиков.

Порядок декодирования электроразрядной маркировки. Здесь возможно применение методик, используемых при нанесении и считывании штрих-кодов на различные изделия и упаковку. В качестве примера можно рассмотреть код в соответствии со спецификацией EAN-13.

Отличие в случае нанесения меток на изделия из стали состоит в технологической сложности получения на поверхности металла последовательности из маркеров различной ширины, используемой при нанесении штрих-кодов согласно EAN-13. Однако даже упрощенная маркировка изделий последовательностью меток с заранее определенным их количеством позволяет унифицировать процесс нанесения и считывания маркировок для изделий разнообразного назначения, упростить процесс считывания нанесенных меток, дешифрации, обработки и хранения информации.

Допустим, маркировочная последовательность содержит 13 "знакомест" для меток, расположенных вдоль одной линии и через равное расстояние друг от друга. Каждое знакоместо может принимать значение "1" (метка в этом месте нанесена) либо "0" (метка отсутствует). Тогда, равномерно перемещая считывающий прибор вдоль линии маркировки, можно на выходе прибора получить двоичную последовательность электрических импульсов, идентичную маркированному предмету. Полученная последовательность в свою очередь может быть считана компьютером либо специализиро-

ванным микроконтроллером и в дальнейшем обработана любым традиционным для данной сферы приложений способом.

Для корректного считывания маркировки в ее структуру следует ввести стартовые и стоповые разряды. Стартовые разряды займут первые два знакоместа в маркировочной последовательности. Их значение всегда равно 1, то есть метки всегда присутствуют. Считывание маркировки начинается от них. По расстоянию между ними прибор соотносит скорость перемещения считывающего устройства и заданного при нанесении меток расстояния между ними. Таким образом вычисляются интервалы времени, через которые, при соблюдении равномерности в движении считывающего узла, он будет последовательно проходить над знакоместом всех меток в маркировке. Так как общая разрядность метки известна (в нашем примере – 13 разрядов), то для размещения непосредственно кодируемой информации остается 9 разрядов маркировки. Последние 2 разряда (их значения также всегда равны 1) используются для контроля равномерности скорости перемещения считывающего узла, от которой зависит корректность считывания кода. По достижении предпоследней, 12-й метки выполняется процедура, аналогичная вычислению времени прохождения считывающего узла между стартовыми разрядами. Если это время равно величине, полученной при прохождении стартовых разрядов, то кодовая последовательность считана верно. Если же полученный временной интервал отличен, то можно сделать вывод об изменении скорости движения считывающего элемента, а значит, – о возможной некорректности считывания кода в целом. Оператору выдается сигнал об ошибке в считывании, и процедура повторяется.

Выводы. Таким образом созданы система непрерывного электроразрядного нанесения знаков маркировки деталей и узлов машин, а также система считывания и расшифровки нанесенных марок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтман В.И., Ребиндер П.А., Карпенко Г.В. Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформации металлов. М., 1954.
2. Вейлер С.Я., Лихтман В.И. Действие смазок при обработке металлов давлением. М., 1960.
3. Пыжик А.О., Хвищук А.С. Деформационное формообразование деталей электрогидравлическим взрывом. Вісник інженерної академії України, спец.вип. 1998. С. 57–58.
4. Мирдель Г. Электрофизика. М., 1972.
5. Белов К.П. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 2-е изд. М.-Л., 1957.
6. Бозарт Р. Ферромагнетизм. М., 1956.
7. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е / Под ред. проф. П.В.Новицкого. Л., 1975.
8. Эрлар В., Вальтер Л. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами. Пер. с нем. М., 1974.
9. Сергеев Б.С. Схемотехника узлов источников вторичного электропитания. Справочник. М., 1992.

Поступила 09.09.05

Summary

It is brought results over of researches of spots raising of marking by the electric digits of small energies (to 10 J) in a liquid with the superficially-active matters. Thus electric digits were carried out in a pack with certain frequency of impulses and certain pauses between the parcels of packs. Composition of superficially-active matter is certain, but changeable in the process of marking. Tracks of such marking are reliably read due to the change of picture of the magnetic field of the marked good in the area of raising of spots of marking. Technology of reading of spots is described in a brand and elements of apparatus decisions of devices of reading.