

но-фазовым состоянием полученных покрытий, которое зависит от способа и режима нанесения покрытий и последующей их термообработки. Наибольшую величину износостойкости $7,4 \cdot 10^8$ с/г и наименьшее значение микротвердости 2,4 ГПа имеют образцы с покрытием, полученным методом непрерывного напыления с нагревом подложки и последующей закалкой от

температуры 1373 К, которое имеет максимальное содержание γ -Fe. Наименьшую величину износостойкости $3,5 \cdot 10^8$ с/г и наибольшее значение микротвердости 8,4 ГПа имеют образцы с покрытием, полученным способом послойного напыления с ионнолучевой обработкой каждого слоя, в котором отсутствует γ -Fe и наблюдается единственная фаза α -Fe.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машков Ю.К., Гадиева Л.М., Калистратова Л.Ф. и др. Повышение износостойкости наполненного политетрафторэтилена путем оптимизации содержания наполнителя // Трение и износ. – 1988. – Т. 9. – № 4. – С. 606–616.
2. Байбарацкая М.Ю., Блесман А.И., Калистратова Н.П., Овчар З.Н. Исследование модифицированных структур стальных деталей металлополимерных трибосистем // Трение и износ. – 1998. – Т. 19. – № 4. – С. 510–516.
3. Сергеев В.П. Сверхтвердые нанокомпозитные покрытия на основе нитрида титана, легированного медью, алюминием или углеродом // В кн.: Деформация, локализация, разрушение. Сб. статей / Под ред. Л.Б. Зуева. – Томск. – Изд-во НТЛ, 2005. – С. 112–126.
4. Сергеев В.П., Яновский В.П., Параев Ю.Н., Сергеев О.В., Козлов Д.В., Журавлев С.А. Установка ионно-магнетронного напыления нанокристаллических покрытий // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. – Спец. выпуск. – Ч. 2. – С. 333–337.
5. Матюшенко В.Я. Износостойкость наводороженных металлов // В кн.: Исследование водородного износа. Сб. статей. Под ред. А.А. Полякова. – М.: Наука, 1977. – С. 24–27.
6. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – М.: Изд-во МИСИС, 1994. – 328 с.
7. Stone D.S., Yoder K.B., Sproul W.D. Hardness and Elastic Modulus of TiN Films Based on Continuous Indentation Technique and New Correlation // J. Vac. Sci. Technol. – 1991. – V. A9. – P. 2543–2548.
8. Massalsky T.B. Binary Alloy Phase Diagrams // American Society Metals. – 1986. – V. 1. – 1342 p.
9. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. – М.: Физматгиз, 1959. – Т. 2. – 1260 с.
10. Micina M., Musil J., Kadlec S. Microstructure and properties of Ti-Ni-N nanocomposite coatings // Surf. Coat. Technol. – 1998. – V. 110. – P. 168–176.
11. Karlsson L., Horling A., Johansson M.P., Hultman L., Ramanath G. The influence of thermal annealing on residual stresses and mechanical properties of arc-evaporated $\text{TiC}_x\text{N}_{1-x}$ ($x=0, 0.15, 0.45$) thin films // Acta Mater. – 2002. – V. 50. – № 20. – P. 5103–5114.
12. Поляков А.А. Защита от водородного износа в узлах трения. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.
13. Арчаков Ю.И. Водородная коррозия стали. – М.: Металлургия, 1989. – 216 с.
14. Андриевский Р.А., Глезер А.М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. 1. Особенности структуры. Термодинамика. Фазовые превращения. Кинетические явления // Физика металлов и металловедение. – 1999. – Т. 88. – № 1. – С. 50–73.
15. Малкин В.И., Коннова И.Ю., Зикеев В.Н. и др. Влияние содержания никеля на микроструктуру и склонность к водородному охрупчиванию стали 09ХГ2НАБ // Известия АН СССР. Металлы. – 1986. – № 6. – С. 128–132.

УДК 537.624.7

УСТРОЙСТВО ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.Е. Гольдштейн, Е.И. Уразбеков, А.И. Корниенко*

Томский политехнический университет

E-mail: claget145@mail.ru

*Филиал ООО «Корпорация ИМС», г. Нижневартовск

E-mail: kai757@mail.ru

Предложено устройство высокопроизводительного размагничивания длинномерных изделий, основанное на использовании постоянного магнитного поля, корректируемого по измеряемым в процессе размагничивания начальной и остаточной намагниченностям изделия. Показаны конструктивные особенности устройства размагничивания.

При осуществлении магнитного и вихретокового контроля изделий из ферромагнитных материалов, как правило, применяется их намагничивание до состояния близкого техническому насыщению. В первом случае эта операция относится к числу основных для данного вида контроля, во втором —

осуществляется как вспомогательная для уменьшения влияния магнитных неоднородностей на результаты контроля. Намагничивание изделий может также произойти в результате сварочных работ, механической обработки, использовании электромагнитов для перемещения или фиксации деталей

и т.п. Во всех случаях для дальнейшего использования изделий требуется их размагничивание, поскольку повышенная остаточная намагниченность может вызвать нарушение нормальных условий работы приборов, препятствовать проведению последующих технологических операций, таких, как сварка, сборка деталей в узлы, механическая обработка. Необходимость размагничивания особенно актуальна для изделий из легированных сталей, характеризующихся высокими значениями остаточной магнитной индукции и коэрцитивной силы.

В производственных условиях применяются два основных метода размагничивания: нагрев до температуры точки Кюри (для железа — 768 °С) и перемагничивание изделий в переменном равномерно убывающем до нуля магнитном поле [1–3]. Первый способ обеспечивает самое высокое качество размагничивания, однако имеет ограниченное применение ввиду изменения при нагреве структурно-механических свойств материала, а также малой пригодности к условиям поточного контроля и при больших габаритах намагниченных изделий. Недостатком второго метода является низкая производительность и высокие энергетические затраты при размагничивании изделий большого сечения. Так, для обеспечения глубины проникновения магнитного поля на всю толщину изделия с размером в поперечном сечении более 25...50 мм частота намагничивающего тока должна быть порядка 1...2 Гц. При этом число размагничивающих периодов должно быть около 40...50. Время размагничивания прутков и труб длиной 6...10 м может достигать десятков минут, что неприемлемо для большинства практических задач. Потребляемая мощность демультиплаторов, построенных на данном принципе, составляет порядка единиц — десятков кВт [1].

Менее распространен метод размагничивания, основанный на кратковременном воздействии на намагниченное изделие постоянным магнитным полем обратной полярности [4, 5]. Достоинствами метода размагничивания постоянным полем являются возможность высокопроизводительного размагничивания крупногабаритных деталей и низкая потребляемая мощность. Недостаток данного метода, ограничивающий его широкое применение, заключается в сложности подбора необходимой напряженности размагничивающего поля. Последнее обусловлено следующими причинами. Размагничивание до нулевого значения остаточной индукции может быть обеспечено в случае, если напряженность размагничивающего поля равна релаксационной коэрцитивной силе. Ее значение зависит как от свойств материала изделия, так и от значения остаточной магнитной индукции, значительно изменяющегося по длине изделия вследствие структурных неоднородностей материала и неодинакового размагничивающего воздействия на разные участки изделия. Поэтому установкой фиксированного значения напряженности размагничивающего поля невозможно обеспечить высокое качество размагничивания по всей длине, что

ограничивает применение данного метода задачами размагничивания относительно небольших участков намагниченного изделия. Узкое применение, ограниченное главным образом задачами размагничивания торцов соединяемых с помощью дуговой или электроннолучевой сварки намагниченных деталей, имеет и метод размагничивания в приложенном магнитном поле с напряженностью равной коэрцитивной силе [6]. Данное техническое решение пригодно также как и предыдущее только для размагничивания небольших участков изделий, а кроме того не обеспечивает размагниченного состояния изделия после выключения источника размагничивающего поля.

В настоящее время разрабатывается устройство размагничивания, основанное на использовании постоянного магнитного поля, корректируемого по измеряемым в процессе размагничивания начальной и остаточной намагниченностям изделия [7]. Преимуществом такого технического решения является возможность качественного размагничивания протяженных ферромагнитных изделий большого сечения с высокой скоростью и при малой потребляемой мощности.

На рис. 1, 2 показана структурная схема устройства, реализующего предлагаемый метод размагничивания, а также диаграмма, поясняющая его работу.

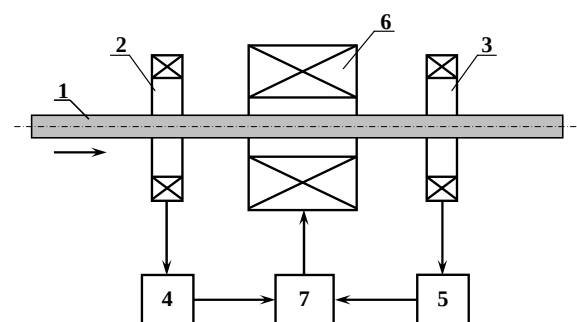


Рис. 1. Структурная схема размагничивающего устройства: 1) изделие; 2, 3) индукционные обмотки; 4, 5) интеграторы; 6) обмотка намагничивания; 7) регулятор тока

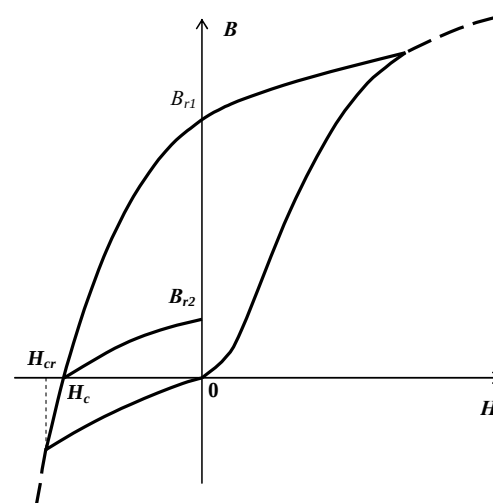


Рис. 2. Кривая перемагничивания ферромагнитного прутка из магнитотвердого материала

Устройство работает следующим образом. Намагниченное изделие — 1 перемещается через блок магнитных преобразователей, основными элементами которого являются индукционные обмотки — 2, 3 и обмотка намагничивания — 6. ЭДС обмоток — 2 и 3 интегрируется электронными интеграторами — 4 и 5. Выходное напряжение интегратора — 4, пропорциональное первоначальной остаточной магнитной индукции B_r изделия в плоскости сечения обмотки — 2, подается на вход регулятора тока — 7, управляющего током обмотки намагничивания — 6. Коэффициент преобразования регулятора подбирается таким, чтобы ток обмотки намагничивания соответствовал значению релаксационной коэрцитивной силы H_{cr} (несколько большего, чем значение коэрцитивной силы H_c). Проверка качества размагничивания и устранение небольшого остаточного намагничивания осуществляется вторым контуром регулирования, в который входит индукционная обмотка — 3 и интегратор — 5, подключенный ко второму входу регулятора тока — 7.

На рис. 3 показана конструкция блока магнитных преобразователей.

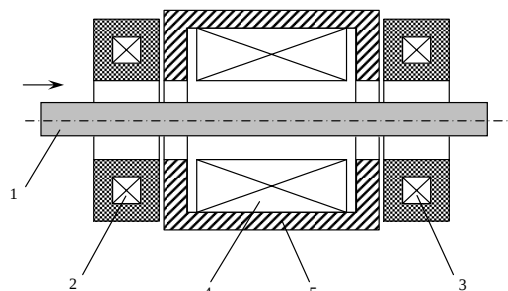


Рис. 3. Конструкция блока магнитных преобразователей

Введение магнитопровода — 5, рис. 3, позволяет исключить влияние магнитного поля тока обмотки намагничивания — 4 на измерительные обмотки — 2 и 3 и уменьшает магнитное сопротивление магнитной цепи обмотки намагничивания — 4.

При анализе составляющих погрешности размагничивания выявлено, что одними из блоков, существенно влияющих на качество размагничивания, являются блоки электронных интеграторов — 4 и 5 (рис. 1). Электронные интеграторы собраны на прецизионных операционных усилителях по схеме компенсации дрейфа [8].

Особенностью этой схемы является незначительный дрейф интегратора при отсутствии входного сигнала. Это обеспечивается введением петли обратной связи с дополнительным интегратором, благодаря которой осуществляется самокоррекция интегрирования.

Для регулировки тока размагничивания использован усилительный каскад на мощном биполярном транзисторе, в коллекторную цепь которого включена обмотка намагничивания — 6 (рис. 1), а управление осуществляется выходными напряжениями интеграторов — 4 и 5.

Время размагничивания изделий составляет единицы секунд, при скорости движения до 4 м/с.

Качество размагничивания проверялось на специально спроектированном компьютеризированном измерительном комплексе. Данная измерительная установка предназначена для измерения и графического отображения функционального распределения остаточной магнитной индукции по длине изделия. Измерение B_r осуществляется с помощью индукционного преобразователя и электронного интегратора. Для ввода измерительной информации в ПЭВМ использована плата сбора данных L-154 фирмы L-Card. Программа обработки измерительной информации реализована с использованием языка LabVIEW фирмы National Instruments. На рис. 4 представлен внешний вид окна программы.

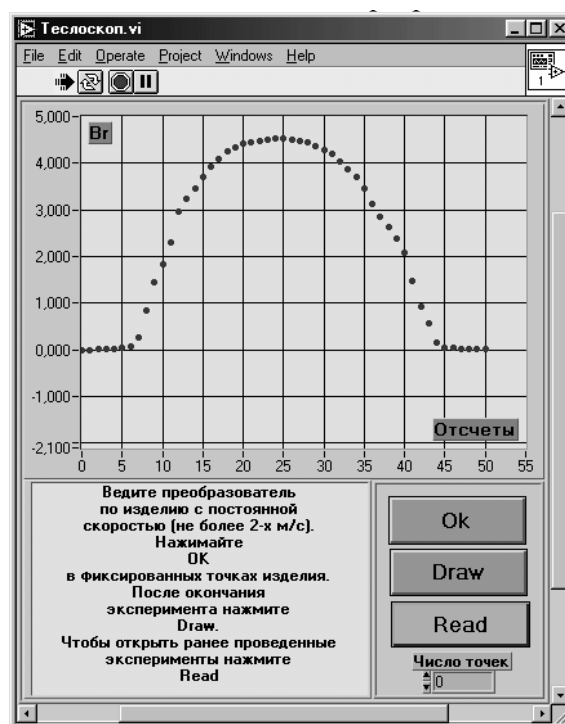


Рис. 4. Внешний вид окна программы

Полученные кривые распределения остаточной магнитной индукции по длине прутка (ШХ 15, $\varnothing 20$ мм) приведены на рис. 5.

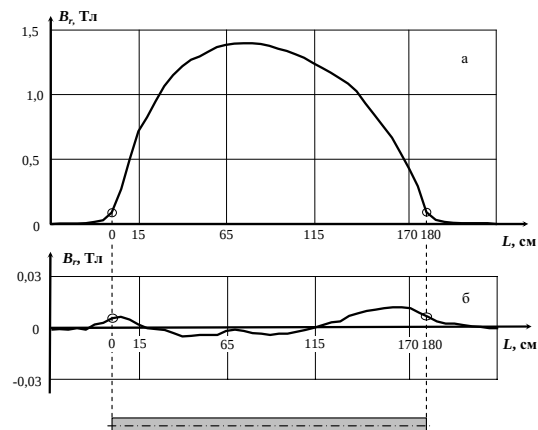


Рис. 5. Кривые распределения остаточной магнитной индукции по длине изделия: а) в намагниченном состоянии; б) после размагничивания

Таким образом, остаточная магнитная индукция после размагничивания не превышает 50 Гс в середине изделия и 150 Гс на его концах, что является приемлемым для широкого круга задач. Такая намагниченность не препятствует проведению сварочных работ и не оказывает влияние на близко

расположенные устройства. Повышенное значение остаточной намагниченности на концах изделия обусловлено тем, что эти части подвергаются размагничиванию в условиях разомкнутых магнитной цепи и контуров регулирования тока размагничивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Кн. 2 // Под ред. В.В. Ключева. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Корсаков В.В., Рождественский С.М., Семеновская И.Б., Юренков В.К. Средства магнитопорошковой дефектоскопии. – М.: Машиностроение, 1982. – 68 с.
3. Heptner H., Stroppe H. Physikalische Grundlagen magnetische und magnetinduktive Werkstoffprüfung. – Leipzig, 1973. – 160 S.
4. А.с. 1325346 СССР. МКИ G01N 27/84. Устройство для размагничивания деталей при магнитопорошковой дефектоскопии / Г.С. Шелехов, И.Г. Викулов, А.И. Почкаев, Г.И. Баранов. Заявлено 26.03.86; Опубл. 23.07.87, Бюл. № 27. – 2 с.: ил.
5. Волохов С.А., Добродеев П.Н., Безлюдько Г.Я., Мужичкин В.Ф. Размагничивание труб перед сваркой на магистральных трубопроводах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 1999. – № 8. – С. 41–43.
6. Лесков Г.И., Протосей Н.Е., Новиков Д.Ю. Условия размагничивания изделий перед сваркой и способы их обеспечения // Автоматическая сварка. – 1987. – № 7. – С. 40–45.
7. А.с. 1748034 СССР. МКИ G01N 27/84. Устройство для размагничивания изделий / А.Е. Гольдштейн, С.А. Калганов, А.П. Карлов, П.А. Овсянников. Заявлено 28.05.90; Опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. – 5 с.: ил.
8. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т. 2. – М.: Мир, 1993. – 370 с.

УДК 539.3;539.4.01;616.718

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕДРЕННОЙ КОСТИ ЧЕЛОВЕКА С ЭНДОПРОТЕЗОМ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ПОДХОДА

Иг.С. Коноваленко, А.Ю. Смолин, С.Г. Псахье, А.В. Карлов*

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: igkon@usgroups.com

*Центр ортопедии и медицинского материаловедения СО РАМН, г. Томск

Проведено уточнение ранее построенной на основе метода подвижных клеточных автоматов двумерной численной модели бедренной кости человека и показана его обоснованность. Новая модель, в частности, учитывает специфику геометрии кости – изгибы и изменяющиеся вдоль сечения кости поперечные размеры во фронтальной плоскости, а также влияние натяжения прочной фасции (tractus iliotibialis) на напряженно-деформированное состояние бедренной кости. Показано, что действие tractus iliotibialis оказывает существенное влияние на распределение сдвиговых напряжений и напряжений всестороннего растяжения, как в естественной кости, так и в кости с эндопротезом.

Введение

Бедренная кость человека имеет изгибы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а также изменяющееся по ее длине поперечное сечение. Эти факторы во многом определяют ее биомеханическое поведение при механических нагрузках [1–3]. Кроме того, нагружение кости не является одноосным, вследствие специфики строения проксимального отдела и влияния мышц и связок [4]. Аналогом бедренной кости в технике является столб с поперечной перекладиной и закрепленным нижним концом. При действии силы, обусловленной весом тела, в кости возникает осевое давление, направленное вниз, и изгибающий момент (рис. 1). В результате суперпозиции образованных напряжений, на внешней поверхности кости может сформироваться значительное растягивающее напряжение, приводящее к появлению повреждений.

Аналитические выражения для напряжений по левой (1) и правой (2) поверхности столба выглядят следующим образом [2]:

$$\sigma_{LEFT} = (-F/4\pi r^2 + 4Fx/\pi r^3), \quad (1)$$

$$\sigma_{RIGHT} = (-F/4\pi r^2 - 4Fx/\pi r^3). \quad (2)$$

Можно видеть, что на левой поверхности столба будут присутствовать растягивающие напряжения $\sigma_{LEFT} > 0$ при $x > r/4$ (для полый трубки $\sigma_{LEFT} > 0$ при $x > (r_1^2 + r_2^2)/4r_1$, где r_1 и r_2 – наружный и внутренний радиусы).

Известно [1, 2], что широкая фасция бедра за счет своего натяжения изменяет распределение внутренних напряжений и значительно уменьшает опасные растягивающие напряжения. В связи с этим, ясно, что при построении компьютерной модели бедренной кости человека необходимо учиты-