

УДК 620.179.16

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-59-70

Акустические и электромагнитные свойства заготовок стволов гражданских ружей*

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор,
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
О. В. Муравьева, доктор технических наук,
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
Т. Р. Вагапов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
В. Е. Макарова, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Е. А. Степанова, бакалавр, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Исследована неравномерность акустических свойств в заготовках стволов гражданских ружей. Исследованию подвергались 4 образца заготовок стволов гражданских ружей из одной партии, полученных после первой стадии технологического процесса. Образцы имеют цилиндрическую форму диаметром 34 мм, длиной 210 мм и изготовлены из высококачественной углеродистой стали 50А. При исследовании использован акустический зеркально-теневой метод контроля на многократных отражениях с применением для возбуждения и приема волн электромагнитно-акустического преобразователя и пьезоэлектрического преобразователя на основе поливинилиденфторидной пленки. На основе проведенных исследований с помощью ЭМА-метода многократных отражений на образцах заготовок стволов гражданских ружей измерены следующие информативные параметры: скорость поперечной, продольной и рэлеевской волн – и рассчитаны на их основе упругие модули и коэффициент Пуассона. ЭМА-метод многократных отражений показал высокую чувствительность измеряемых информативных параметров ультразвуковых волн к неоднородностям материала в отдельных сечениях по длине заготовок стволов, что может быть обусловлено нарушениями технологических процессов обработки.

Для поперечной и рэлеевской волн рассчитаны такие параметры, как коэффициент выявляемости, дисперсия, которые также свидетельствуют о неоднородности свойств по отдельным сечениям относительно длины образцов заготовок. С помощью микрометра измерены диаметры прутков в 17 точках и зарегистрированы минимальные и максимальные значения в каждой точке, что коррелирует с результатами измерений скоростей волн.

Измерены относительные значения электропроводности на каждом прутке по образующей в 4 положениях окружности (0, 90, 180, 270 градусов). Наблюдаются отклонения полученных значений электропроводности до 5 %, что также свидетельствует о наличии локальных неоднородностей электрических свойств, отражающих структурные неоднородности. Отмечена неравномерность значений коэрцитивной силы до 0,7 А/см по окружности заготовок.

Ключевые слова: скорости поперечной, продольной и рэлеевской акустических волн, модули упругости, зеркально-теневой метод многократных отражений, заготовки стволов гражданских ружей.

Введение

Ствол в любом огнестрельном оружии, в том числе и гражданском, является основной его деталью, позволяющей с использованием энергии порохового заряда сообщить пулевому снаряду поступательное движение с нужной скоростью в нужном направлении [1–4].

Подготовка заготовок начинается с разделения прутков цилиндрической формы на части заданной длины, после чего проводится процесс механической обработки заготовки и разметки торцов. Для создания канала в заготовке осуществляется операция прошивки путем продавли-

вания заготовки на вертикально-ковочных машинах. Далее полученный материал проходит стадиюковки. На данном этапе заготовку нагревают до определенной температуры, обжимают на оправке и вытягивают биением крестообразно расположенных молотков [5, 6].

При технологическом процессе, описанном выше, в заготовках могут возникнуть неравномерности и неоднородности по сечению в виде отклонений по диаметру, овальности, остаточным напряжениям, структурным различиям. Вследствие действия на ствол значительных механических и термических нагрузок могут

© Муравьев В. В., Муравьева О. В., Вагапов Т. Р., Макарова В. Е., Степанова Е. А., 2023

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00252, <https://rscf.ru/project/22-19-00252>, с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий» (рег. номер: 586308).

проявиться дефекты, как внутренние, так и поверхностные, например заковы, закаты, разрывы тела, поверхностные и внутренние трещины, волосовины при деформации неметаллических включений и другие [7].

При последующей эксплуатации на ствол действуют термические и механические нагрузки, например внутреннее давление, перегрев, изгиб и др., что при наличии неоднородностей по сечению и дефектности существенно повлияет на кучность стрельбы [8–11].

Целью работы является исследование информативных параметров ультразвуковых волн (продольная, поперечная и рэлеевская), электропроводности, коэрцитивной силы и модулей упругости в материале нескольких заготовок стволов ружей для выявления различия свойств.

Используемые подходы

Для исследований использована уникальная научная установка (УНУ) «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий», зарегистрированная на портале научно-технологической инфраструктуры Российской Федерации: <http://ckp-rf.ru>.

УНУ представляет собой единый комплекс прецизионной аппаратуры для исследований широкого спектра акустических характеристик и упругих свойств различных материалов и изделий разнообразной конфигурации и включает информационно-измерительные установки, специализированные бесконтактные электромагнитно-акустические (ЭМА) преобразователи различных типов волн, специализированное программное обеспечение управления, регистрации и анализа сигналов (<https://istu.ru/material/unu-informacionno-izmeritelnyy-kompleks-dlya-izmereniya-akusticheskikh-svoystv-materialov-i-izdeliy>).

Одна из уникальных возможностей УНУ – высокоточная методика оценки динамических упругих модулей (модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона) металла цилиндрических изделий (проката). Кроме того, установка может быть использована для оценки структурных неоднородностей, определения отклонений по диаметру и по форме сечения, выявления внутренних дефектов типа нарушения сплошности или однородности металла.

В работе исследованы возможности контроля с использованием электромагнитно-акустического зеркально-теневого метода многократных отражений с использованием дефектоскопов из состава УНУ: ДЭМА-П, DIO-1000, структуроскопа СЭМА. Типы используемых волн – объемные продольные и поперечные, поверхностные – рэлеевские. Применены преобразователи проходного и накладного типа со сканированием объекта вдоль образующей. Могут использоваться как на протяженных, так и на коротких объектах. В зоне наличия дефекта наблюдается ослабление серии многократных отражений. Бесконтактные электромагнитно-акустические преобразователи не требуют применения контактной жидкости. Для накладных преобразователей рэлеевских волн требуется сканирование только вдоль образующей объекта [12].

В табл. 1 приведены основные характеристики приборов ДЭМА-П и DIO-1000 PA.

В экспериментах по исследованию электропроводности использован измеритель удельной электропроводности металлов и их сплавов МВП-2М. Значения коэрцитивной силы на заготовках измерены с помощью коэрцитиметра КИФМ-1Н, состоящего из датчика и электронного блока. Диаметры образцов измерены с помощью микрометра с точностью 0,001 мм.

Таблица 1. Характеристики приборов ДЭМА-П и DIO-1000 PA

Table 1. Characteristics of the devices DEMA-P and DIO-1000 PA

Характеристики	ДЭМА-П	DIO 1000 PA
Амплитуда зондирующего импульса	2 кВ	189 В
Частота	1 и 2,5 МГц	10 МГц
Информативные параметры	Измерение времени сигналов	Измерение времени сигналов
Используемые типы волн	Поперечная, рэлеевская	Продольная
Частота дискретизации	100 МГц	200 МГц

Для возбуждения и приема объемных поперечных волн использовался дефектоскоп ДЭМА-П со специализированным разъемным электромагнитно-акустическим (ЭМА) преобразователем, обеспечивающим осевую поляризацию поперечной волны, распространяющейся по диаметральным направлениям сечения об-

разца [13–15]. Электромагнитно-акустический зеркально-теневого метод многократных отражений ввода-приема рэлеевской волны использовался со структуроскопом СЭМА.

Блок-схема реализации методики представлена на рис. 1.

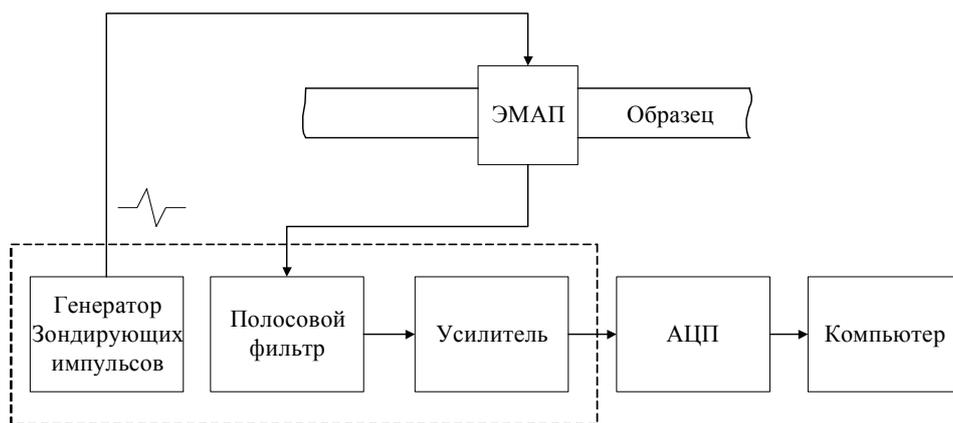


Рис. 1. Блок-схема информационно-измерительной системы ДЭМА-П с проходным преобразователем поперечных волн ЭМАП

Fig. 1. Block diagram of the information-measuring system DEMA-P with a through transducer of transverse waves EMAP

Возбуждение и прием продольной волны, распространяющейся по диаметральному направлению сечения образца, осуществлялся с помощью пьезопреобразователя на основе гибкой поливинилиденфторидной (ПВДФ) пленки и ультразвукового дефектоскопа DIO-1000.

На рис. 2 представлены серии сигналов многократных отражений сквозных импульсов поперечной волны по диаметру и рэлеевских волн по окружности цилиндрического объекта.

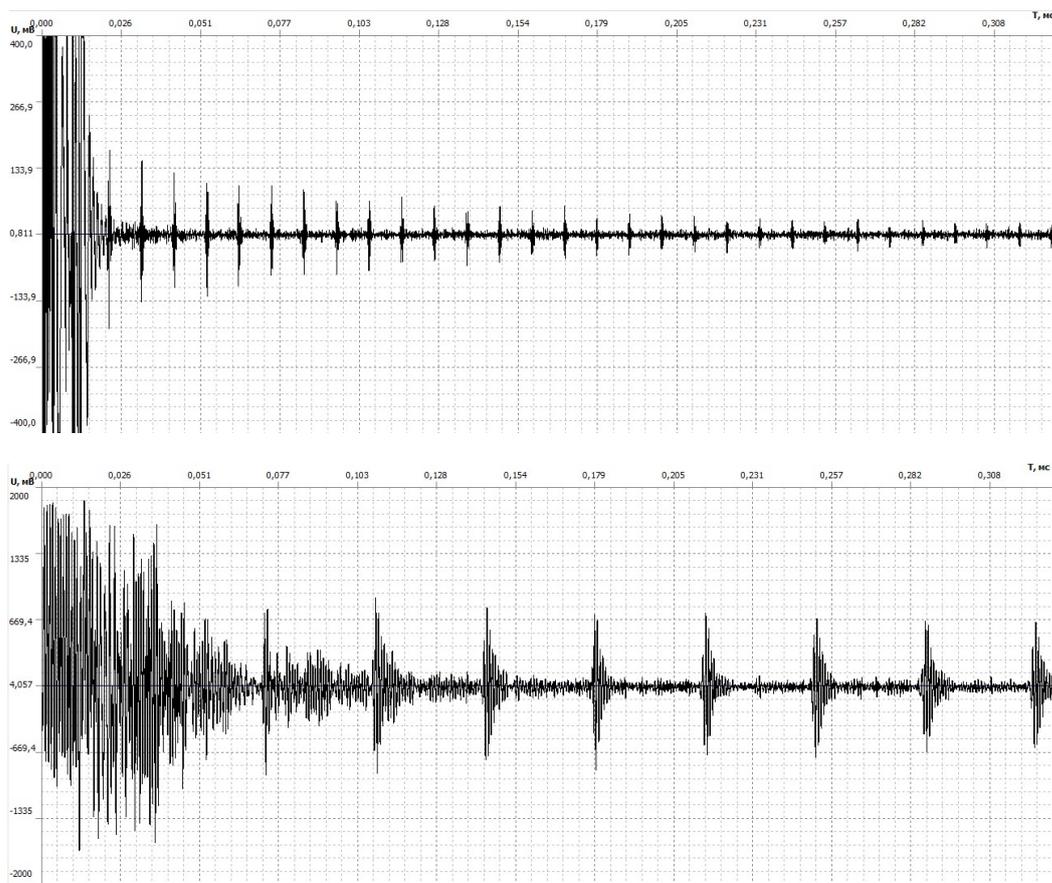


Рис. 2. Характерные осциллограммы серий сквозных импульсов поперечной волны по диаметру (а) и рэлеевских волн по окружности (б) цилиндрического объекта

Fig. 2. Characteristic oscillograms of a series of through pulses along the diameter of a cylindrical object

При наличии структурных неоднородностей сигналы многократных отражений в цилиндрическом образце по его диаметральному сечению претерпевают значительное затухание вследствие рассеяния на несплошностях.

Возбуждение и прием продольной волны, распространяющейся по диаметральному на-

правлениям сечения образца, осуществлялось с помощью пьезопреобразователя на основе гибкой пьезопленки ПВДФ и ультразвукового дефектоскопа ДЮ-1000 РА. Примеры эхограммы полученных сигналов представлены на рис. 3.

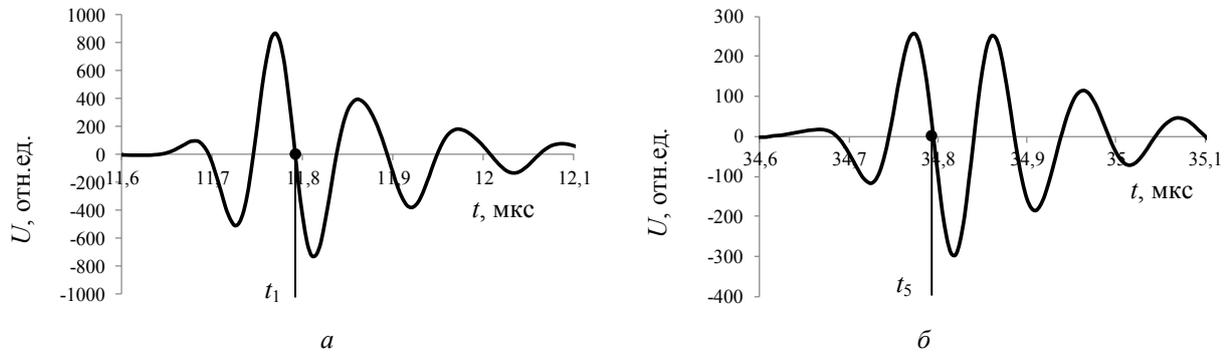


Рис. 3. Осциллограммы 1-го (а) и 5-го (б) отражений, полученные с использованием гибкого ПЭП на основе ПВДФ

Fig. 3. Oscillograms of the 1st (a) and 5th (b) reflections obtained using a flexible probe based on PVDF

Расчет скоростей продольных C_l , поперечных C_t и рэлеевских C_R волн проводился по следующим формулам:

$$C_{t,l} = \frac{d \cdot n}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$C_R = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{\Delta t}, \quad (2)$$

где d – среднее значение диаметра рабочей зоны; n – количество отражений; Δt – время между n отражениями.

Исследованию подвергались 4 образца заготовок стволов гражданских ружей из одной партии, полученных после первой стадии техноло-

гического процесса. Образцы имеют цилиндрическую форму диаметром 34 мм, длиной 210 мм (рис. 4).

На рис 4, б показана схема перемещения преобразователей по длине заготовки в 17 сечениях и поляризация продольных, поперечных и рэлеевских волн по сечению заготовки.

Образцы изготовлены из высококачественной углеродистой стали 50А (ГОСТ 1050–2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия). Химический состав стали: С – 0,5 %, Si – 0,3 %, Mn – 0,7 %, Cr – 0,25 %, As – 0,08 %, Cu и Ni по 0,25 %, S – 0,04 %, P – 0,035 %.

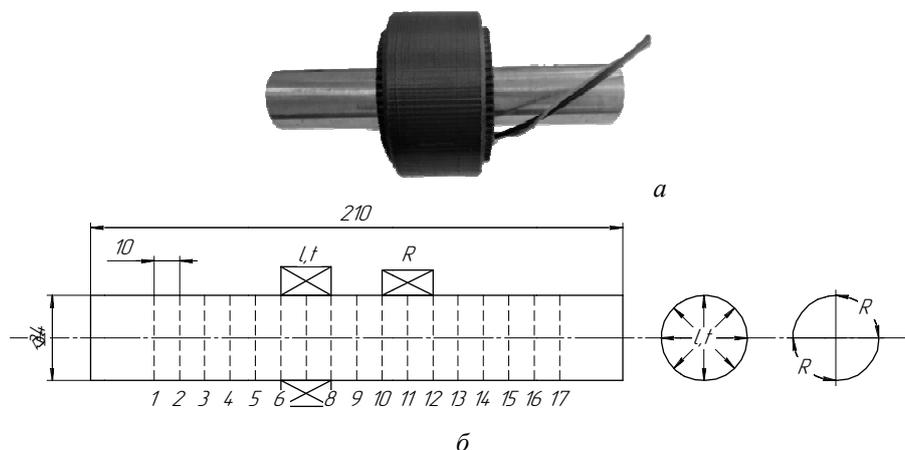


Рис. 4. Фото исследуемого образца с установленным ЭМА-преобразователем поперечных волн (а), схема разметки и перемещения преобразователей по образцу в 17 сечениях и соответствующая поляризация волн (б)

Fig. 4. Photo of a study of a sample with an installed EMA transducer of transverse waves (a), a scheme for marking and moving movements along sample in 17 sections and reduced wave polarization (b)

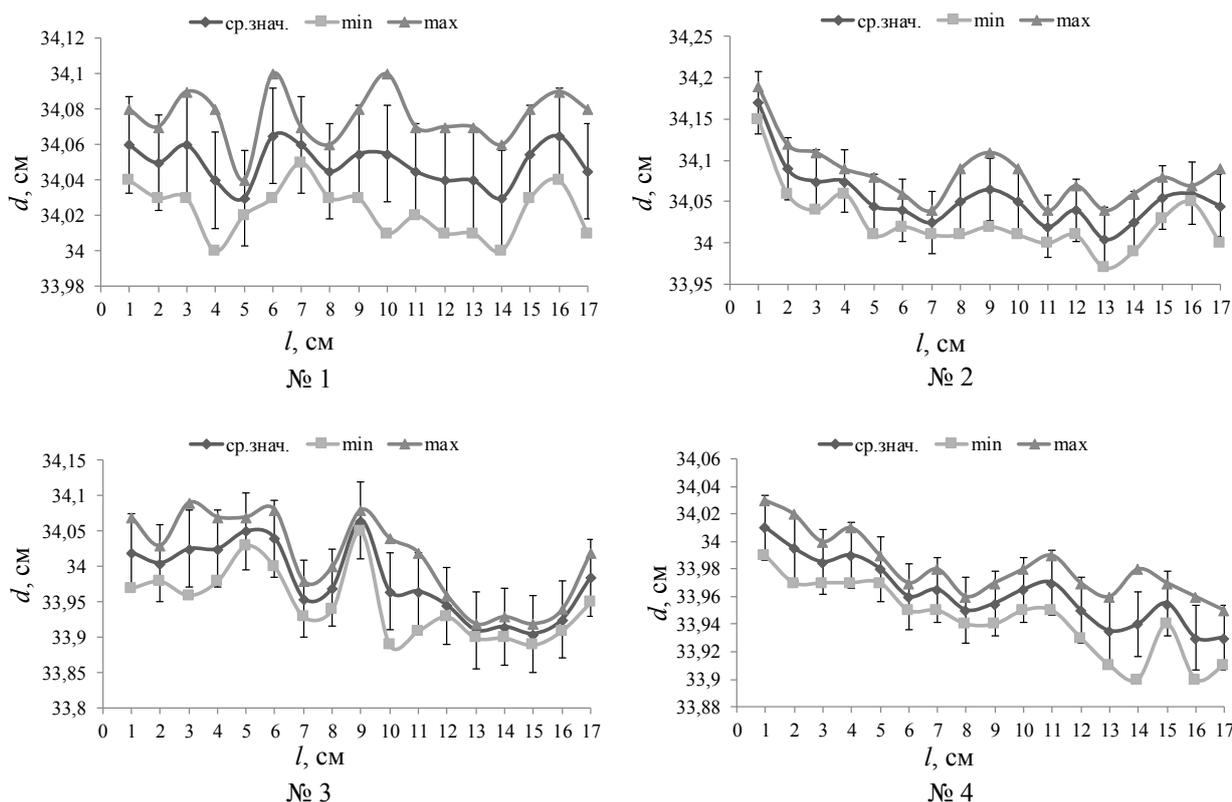


Рис. 5. Графики изменения диаметров в 17 сечениях по длине образцов № 1–4

Fig. 5. Graphs of changes in diameters in 17 sections along the length of samples № 1–4

Результаты и обсуждение

С помощью микрометра измерены диаметры прутков в 17 точках по длине заготовок, рассчитаны средние значения и зарегистрированы минимальные и максимальные значения в каждой точке (рис. 5).

Из полученных графиков видно, что прутки имеют отклонения диаметров по всей длине прутка, т. е. диаметр прутка уменьшается или увеличивается на определенной точке образца.

Отмечены отклонения диаметра от среднего значения на 0,1 мм в образце № 1 и до 0,2 мм в образцах № 2–4. Результаты измерений диаметров в каждом сечении учтены при расчете скоростей волн.

В табл. 2 представлены усредненные по длине образцов скорости продольных, поперечных и рэлеевских волн по результатам их измерения в 17 сечениях четырех образцов заготовок с указанием среднеквадратического отклонения.

Таблица 2. Скорости акустических волн контролируемых образцов

Table 2. Velocity of acoustic waves of controlled samples

№ образца заготовки	Продольные волны C_L , м/с	Поперечные волны C_T , м/с	Рэлеевские волны C_R , м/с
1	5923±2	3240±1	2988±1
2	5916±6	3239±2	2988±2
3	5922±9	3243±3	3011±2
4	5911±7	3237±1	3005±1

Из таблицы следует, что максимальная неравномерность анализируемых скоростей по длине образца наблюдается для образца № 3, что может быть обусловлено неоднородностью свойств после проката и механической обработки заготовок. Отклонения составили для продольных волн – 0,15 %, для поперечных и рэлеевских – менее 0,1.

В качестве примера на рис. 6 представлены результаты расчета скоростей продольных и поперечных волн для образца № 1 в 17 сечениях. Из гистограммы на рис. 6 видно, что разброс скорости продольных волн по длине данной заготовки составляет 36 м/с (5907–5943 м/с). Это свидетельствует о неоднородности свойств, остаточных напряжений, акустической

анизотропии. Из графика рис. 6, б видно, что скорости продольной и поперечной волн различны на всей длине образца, что может быть обусловлено неоднородностью структуры металла вследствие проката и других механических операций при изготовлении, в том числе термообработки. Также наблюдается корреляция скоростей продольной и поперечной волны. Аналогичная корреляция наблюдается и для остальных образцов.

На основании полученных данных рассчитаны упругие модули: коэффициент Пуассона (ν), модуль сдвига (G) и модуль Юнга (E). При расчете модулей использовалось табличное значение плотности материала 7800 кг/м^3 . По полученным результатам построены для 4 образцов сравнительные гистограммы для модулей и коэффициента Пуассона (рис. 7).

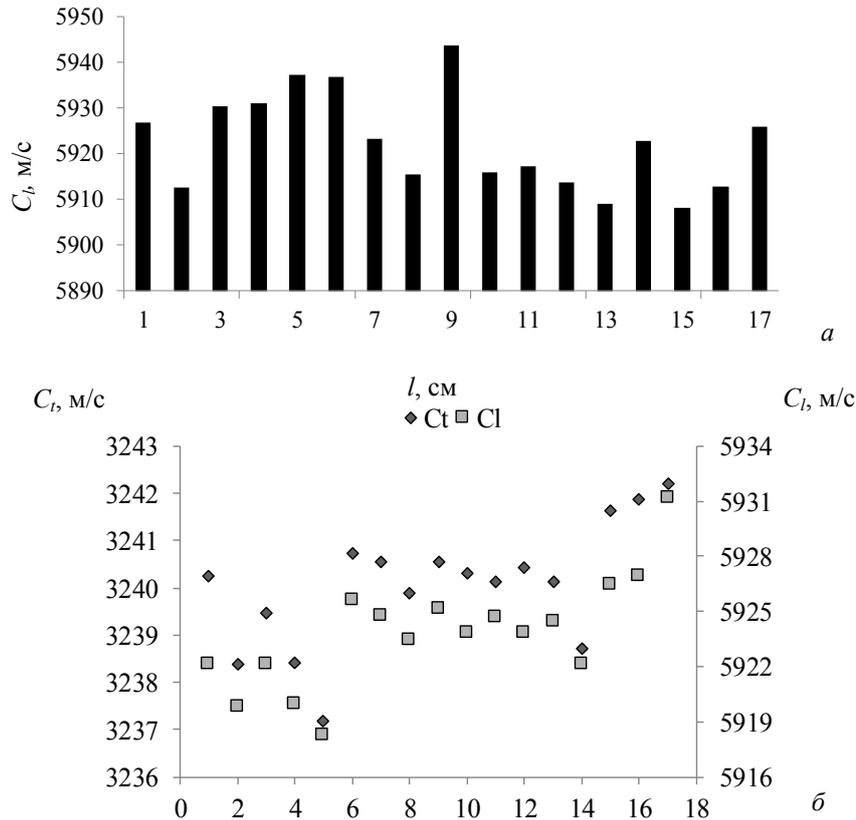


Рис. 6. Гистограмма изменения скорости продольных волн (а) и графики распределения скоростей продольной и поперечной волн (б) в 17 сечениях для образца № 1

Fig. 6. Histogram of the change in the velocity of longitudinal waves (a) and graphs of the distribution of the velocities of the longitudinal and transverse waves (b) in 17 sections for sample № 1

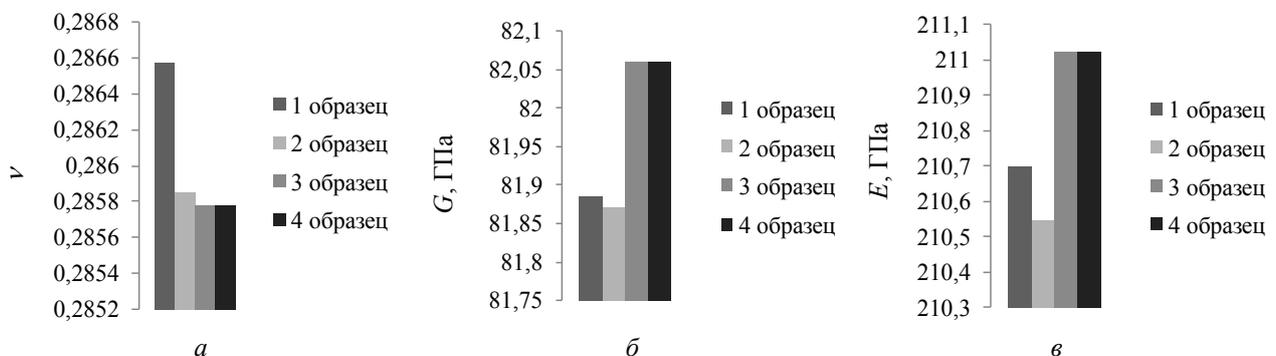


Рис. 7. Средние значения упругих модулей: коэффициент Пуассона (а), модуль сдвига (б) и модуль Юнга (в)

Fig. 7. Average values of elastic moduli: Poisson's ratio (a), shear modulus (b) and Young's modulus (c)

Из гистограмм (рис. 7) следует, что рассчитанные значения упругих модулей и коэффициента Пуассона неравномерно распределяются по образцам вследствие различия анализируемых скоростей по длине образца.

Для поперечной и рэлеевской волн рассчитаны такие параметры, как коэффициент выявляемости K_d , дисперсия D [16].

При определении K_d поперечной и рэлеевской волн в каждом образце были найдены опорные значения таким образом, чтобы рассчитанные значения принимали положительные значения (для поперечной волны: 1-й образец –

11-я точка, 2-й образец – 15-я точка, 3-й образец – 2-я точка, 4-й образец – 2-я точка; для рэлеевской волны: 1-й образец – 1-я точка, 2-й образец – 11-я точка, 3-й образец – 12-я точка, 4-й образец – 3-я точка).

Вероятностно-статистические характеристики и коэффициент выявляемости рассчитываются в специализированном программном обеспечении ПРИНЦ [17].

Расчет значений дисперсии для поперечной и рэлеевской волны приведен по 4 образцам (рис. 9).

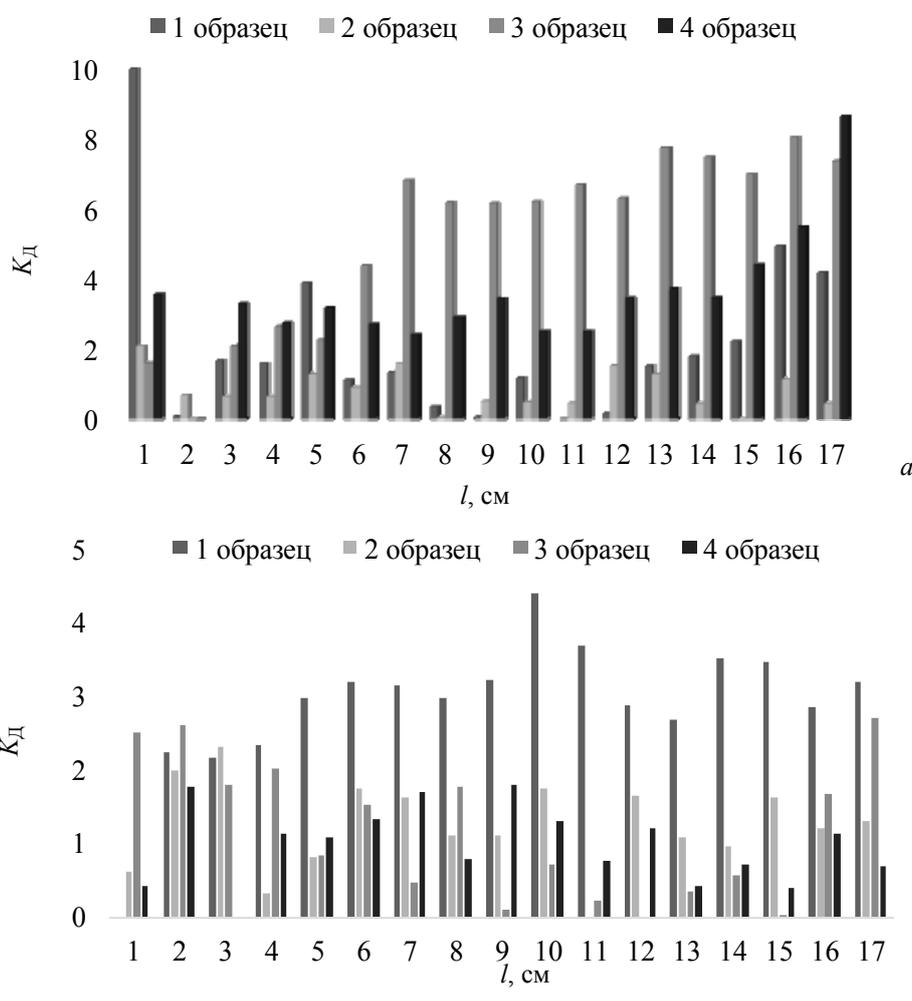


Рис. 8. Коэффициент выявляемости для поперечной волны (а) и для рэлеевской волны (б)

Fig. 8. Detection factor for shear wave

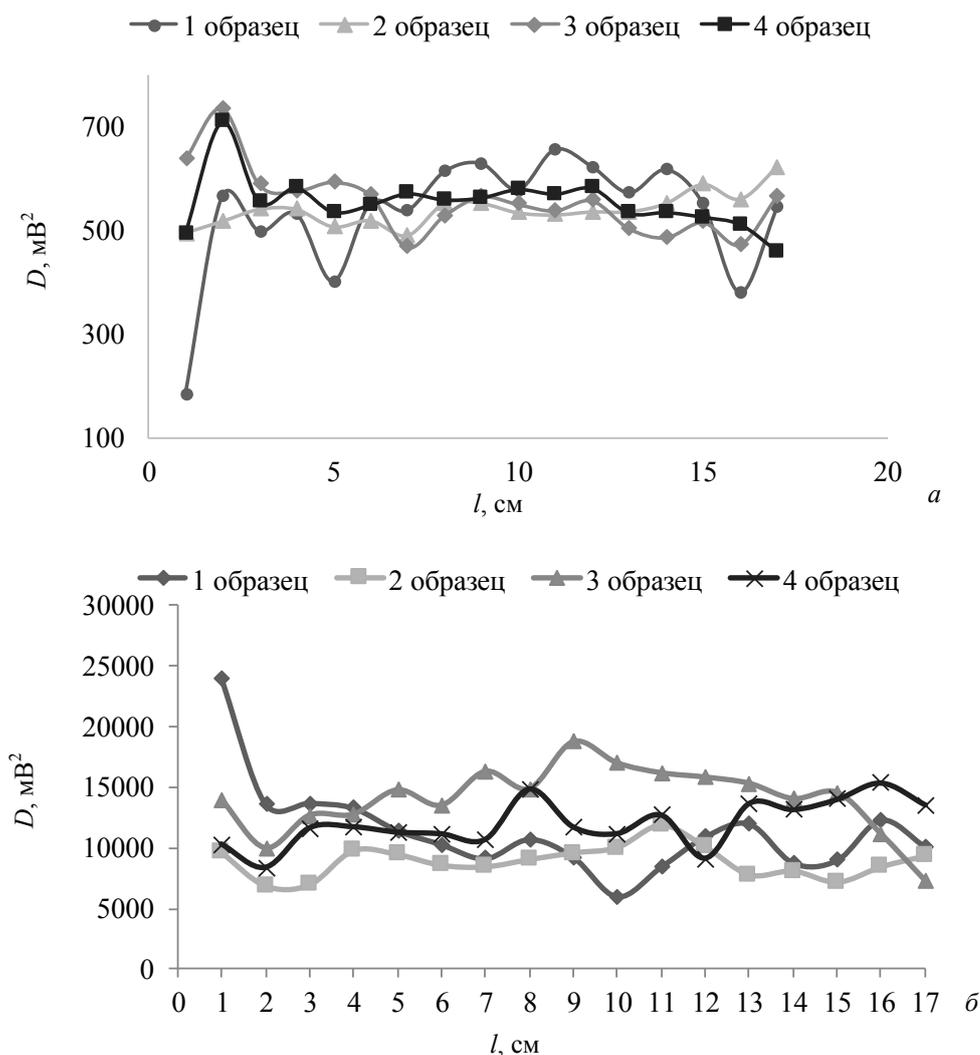


Рис. 9. Дисперсия для поперечной волны (а) и для рэлеевской волны (б)

Fig. 9. Dispersion for a transverse wave (a) and for a Rayleigh wave (b)

Полученные результаты по вероятностно-статистическим характеристикам и коэффициентам выявляемости свидетельствуют о неоднородности свойств по отдельным сечениям относительно длины образцов заготовок.

Далее были измерены относительные значения электропроводности на каждом прутке по образующей в 4 положениях по окружности (0, 90, 180, 270 градусов). По полученным данным построены графики распределений полученных относительных значений электропроводности (рис. 10).

На графике рис. 11 наблюдаются отклонения полученных относительных значений электропроводности от 3550 до 3750 единиц, что также свидетельствует о наличии локальных неоднородностей электрических свойств, отражающих структурные неоднородности.

Средние значения электропроводности для 4 исследованных образцов варьируются от 3630 до 3675 относительных единиц (рис. 11).

Значения коэрцитивной силы на заготовках измерены с помощью коэрцитиметра КИФМ-1Н, состоящего из датчика и электронного блока [18].

Объект контроля устанавливался на датчик в двух точках (6 и 12) так, чтобы 9-я точка являлась средней, в соответствии со схемой, представленной на рис. 7. Измерения проводились на каждом прутке в 4 положениях по окружности (0, 90, 180, 270 градусов) с погрешностью 0,2 А/см. По полученным данным построен график (рис. 12).

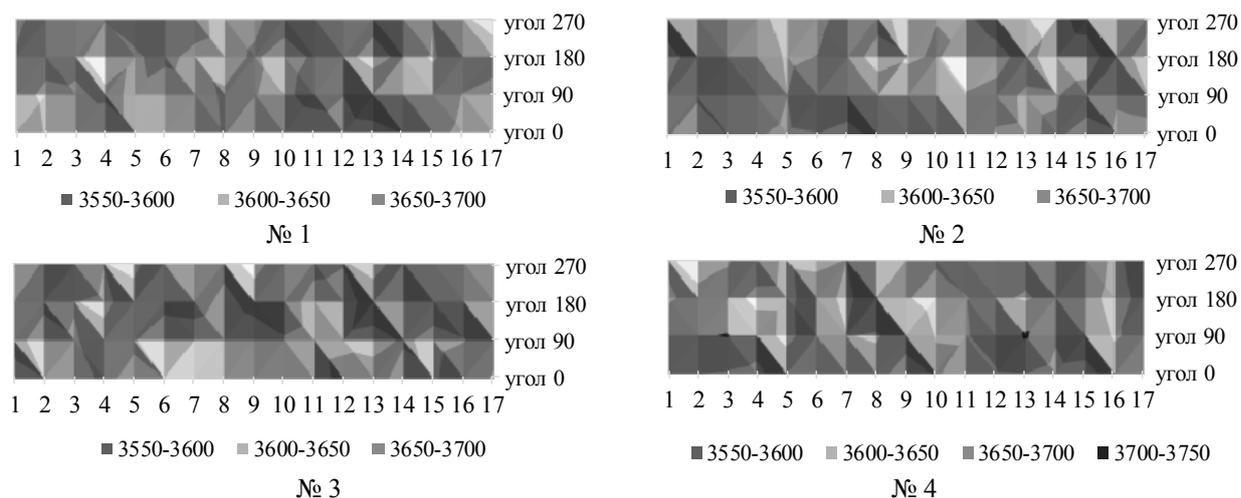


Рис. 10. Графики распределений относительных значений электропроводности по площади образцов
 Fig. 10. Graphs of distributions of relative values of electrical conductivity over the area of samples

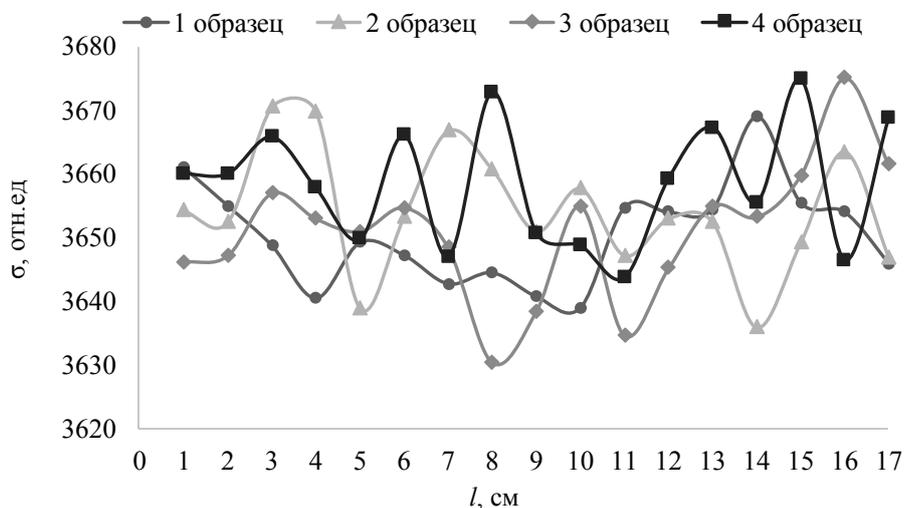


Рис. 11. График распределения относительных значений электропроводности по средним значениям на 4 образцах

Fig. 11. Graph of the distribution of relative values of electrical conductivity by average values on 4 samples

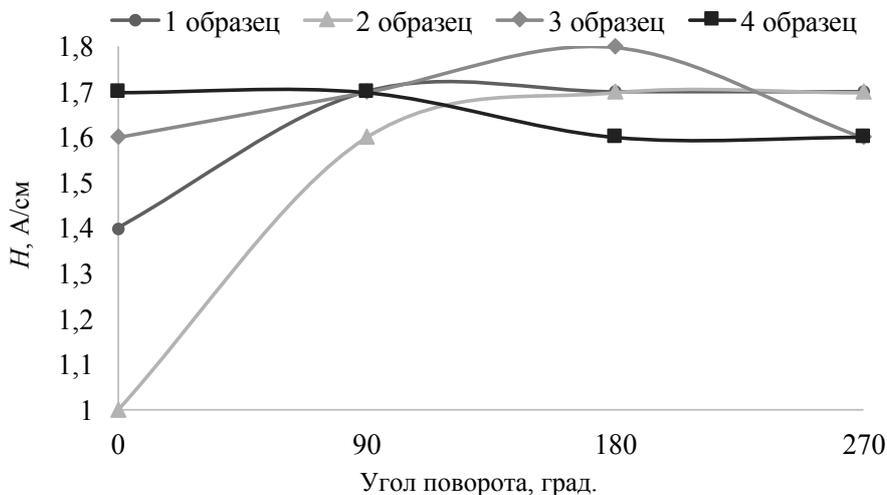


Рис. 12. Коэрцитивная сила по 4 образцам

Fig. 12. Coercive force on 4 samples

Анализ результатов измерений коэрцитивной силы показывает, что наблюдается неравномерность значений коэрцитивной силы до 0,7 А/см по окружности заготовок, особенно для образца № 2, что также свидетельствует о неоднородности свойств обработанного материала.

Заключение

Метод многократных отражений показал высокую чувствительность измеряемых информативных параметров ультразвуковых волн, скоростей волн и рассчитанных на их основе упругих модулей, к неоднородностям материала в отдельных сечениях по длине заготовок стволов, что может быть обусловлено нарушениями технологических процессов обработки.

Полученные значения скоростей акустических волн, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и модуля Юнга близки к табличным значениям (скорость продольной волны $C_l = 5918$ м/с, поперечной – $C_t = 3240$ м/с, рэлеевской – $C_r = 2998$ м/с, $\nu = 0,28$, $\mu = 81$ ГПа, $E = 210$ ГПа).

Скорости продольной и поперечной волны различны на всей длине образца, что может быть обусловлено неоднородностью структуры металла вследствие проката. Разброс скорости продольных волн по длине заготовки составляет 36 м/с (5907–5943 м/с).

Наблюдаются отклонения измеренных значений электропроводности по длине и окружности заготовок до 5 %, а также неравномерность значений коэрцитивной силы до 0,7 А/см по окружности заготовок.

Библиографические ссылки

1. Михайлов Л. Е., Изметинский Н. Л. Ижевские охотничьи ружья. Ижевск : Удмуртия, 1982. 260 с.
2. Саукум С. Суть оружия. Книга 1. Одесса : Печатный дом, 2009. 214 с.
3. Вагнер Г. Какой ствол лучше // Российский оружейный журнал «КАЛАШНИКОВ». 2013. № 2 78 с.
4. Галаган Л. А., Сахратов Р. Ю., Чирков Д. В. Эволюция дульных газовых устройств автоматов серии «АК» // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 3. С. 44–50. DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-44-50.
5. Бирюков А. Б., Иванова А. А. Современное состояние и направления развития технологии непрерывной разливки круглой заготовки // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76, № 6. С. 573–585. DOI 10.32339/0135-5910-2020-6-573-585.
6. Носов В. В. Контроль качества заготовок для горячего проката // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S5-2. С. 247–255.
7. Влияние неметаллических включений и примесей на свойства, качественные характеристики

круглого проката из специальных легированных сталей / А. И. Зайцев, А. В. Князев, А. В. Амежнов [и др.] // Металлург. 2017. № 8. С. 69–74.

8. Бахтмадзе Г. Э., Голенев В. С. Влияние настрела на возможность идентификации гладкоствольного огнестрельного оружия по следам на снарядах // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: Право. 2020. № 1 (24). С. 104–115.

9. Чирков Д. В., Семенов М. А., Пряхин А. Б. Опыт использования программы "Универсальный механизм" для расчета автоматики стрелкового оружия и оценка перспектив ее применения // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 1. С. 27–37. DOI 10.22213/2413-1172-2022-1-27-37.

10. Писарев С. А., Чирков Д. В. О системности процессов проектирования и конструирования оружия, подготовки оружейников, опосредованно связанных с обеспечением военной безопасности страны // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 7-8 (121-122). С. 3–10.

11. О функционально-конструктивных возможностях боевого и гражданского стрелкового оружия модульной конструкции / С. А. Писарев, Д. В. Чирков, Р. Р. Фархетдинов, Ю. С. Фархетдинова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2016. Т. 19, № 3 (71). С. 4–6.

12. Измерение скорости поверхностных волн ферромагнитных материалов электромагнитно-акустическим способом / С. Э. Бабкин, М. Ю. Лебедева, Ю. И. Савченко, О. Н. Вострокнутова // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4 (45). С. 47–51. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-47-51.

13. Акустическая структуроскопия стальных образцов, нагруженных изгибом с вращением при испытаниях на усталость / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, А. Ю. Будрин [и др.] // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. – С. 37–44. DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-37-44.

14. Муравьев В. В., Муравьева О. В., Петров К. В. Связь механических свойств пруткового проката из стали 40Х со скоростью объемных и рэлеевских волн // Дефектоскопия. 2017. № 8. С. 20–28.

15. Петров К. В., Соков М. Ю., Муравьева О. В. Влияние конструктивных особенностей проходного электромагнитно-акустического преобразователя на результаты контроля цилиндрических объектов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 2. С. 135–146. DOI 10.22213/2413-1172-2018-2-135-146.

16. Муравьева О. В., Брестер А. Ф., Муравьев В. В. Сравнительная чувствительность информативных параметров электромагнитно-акустического зеркально-теневого метода на многократных отражениях при контроле пруткового проката // Дефектоскопия. 2022. № 8. С. 36–51. DOI 10.31857/S0130308222080048.

17. Аппаратно-программный комплекс контроля прутков зеркально-теневым методом на многократных отражениях / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Р. Р. Хасанов, А. Б. Ефремов // Известия высших учебных заве-

дений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 6. С. 565–571
DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-6-565-571.

18. Murav'eva O., Murav'ev V., Volkova L. Acoustic properties of low-carbon 2% Mn-doped steel manufactured by laser powder bed fusion technology. 2022. Vol. 51. DOI 10.1016/j.addma.2022.102635.

References

1. Mikhailov L.E., Izmetinsky N.L. *Izhevskie ohotnich'i ruzh'ya* [Izhevsk hunting rifles]. Izhevsk, Udmurtia Publ., 1982, 260 p. (in Russ.).

2. Saukum S. *Sut' oruzhiya. Kniga 1* [The essence of weapons. Book 1]. Odessa, Printing House, 2009, 214 p. (in Russ.).

3. Wagner G. *Kakoj stvol luchshe* [Which trunk is better]. Russian weapons journal KALASHNIKOV, 2013, no. 2, pp.78. (in Russ.).

4. Galagan L.A., Sakhratov R.Y., Chirkov D.V. *Evolyuciya dul'nyh gazovyh ustrojstv avtomatov serii "AK"* [The evolution of muzzle gas devices of automatic machines of the "AK" series]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 44-50 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-153-156.

5. Biryukov A.B., Ivanova A.A. *Sovremennoe sostoyanie i napravleniya razvitiya tekhnologii nepreryvnoj razlivki krugloj zagotovki* [Modern state and development trends of the technology of continuous casting of round blanks]. Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information, 2020, vol. 76, no. 6, pp. 573-585. (in Russ.). DOI 10.32339/0135-5910-2020-6-573-585.

6. Nosov V.V. *Kontrol' kachestva zagotovok dlya goryachego prokata* [Quality control of blanks for hot rolling]. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2017, no. S5-2, pp. 247-255 (in Russ.).

7. Zaitsev A.I., Knyazev A.V., Amezhnov A.V. *Vliyanie nemetallicheskih vklyuchenij i primesej na svoystva, kachestvennye harakteristiki kruglogo prokata iz special'nyh legirovannyh stalej* [Influence of non-metallic inclusions and impurities on the properties, quality characteristics of round rolled products from special alloyed steels]. Metallurg, 2017, no. 8, pp. 69-74 (in Russ.).

8. Bakhtadze G.E., Golenev V.S. *Vliyanie nastrela na vozmozhnost' identifikacii gladkostvol'nogo ognestrel'nogo oruzhiya po sledam na snaryadah* [Influence of shooting on the possibility of identifying smooth-bore firearms by traces on shells]. Vestnik Samarskoj gumanitarnoj akademii. Seriya: Pravo, 2020, no. 1(24), pp. 104-115 (in Russ.).

9. Chirkov D.V., Sementsov M.A. and Pryakhin A.B. [Experience of Using the Program "Universal Mechanism" for Calculating the Automation of Small Arms and Assessing the Prospects for Its Use]. Vestnik IzhGTU imeni MT Kalashnikova, 2022, vol. 25, no. 1, pp. 27-37 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2022-1-27-37.

10. Pisarev S.A., Chirkov D.V. *O sistemnosti processov proektirovaniya i konstruirovaniya oruzhiya, podgotovki oruzhejnikov, oposredovanno svyazannyh s obezpecheniem voennoj bezopasnosti strany* [On the systematic nature of the processes of designing and constructing weapons, the training of gunsmiths, indirectly related to ensuring the military security of the country]. Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu, 2018, no. 7-8(121-122), pp. 3-10 (in Russ.).

11. Pisarev S.A., Chirkov D.V., Farkhetdinov R.R., Farkhetdinova Y.S. *O funkcional'no-konstruktivnyh vozmozhnostyah boevogo i grazhdanskogo strelkovogo oruzhiya modul'noj konstrukcii* [On the functional and design capabilities of military and civilian small arms of a modular design]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2016, vol. 19, no. 3, pp. 4-6 (in Russ.).

12. Babkin S.E., Lebedeva M.Yu., Savchenko Yu. I., Vostroknutova O.N. [Measuring the speed of surface waves of ferromagnetic materials by electromagnetic-acoustic method]. Electrotechnical systems and complexes. 2019. No. 4, pp. 47-51 (in Russ.). DOI: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-47-51.

13. Muravev V.V., Muraveva O.V., Budrin A.Yu., Sintsov M.A., Zorin A.V. [Acoustic structuroscopy of steel specimens loaded by bending with rotation during fatigue tests]. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 37-44 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-37-44.

14. Murav'ev V.V., Murav'eva O.V., Petrov K.V. [Connection between the properties of 40kh-steel bar stock and the speed of bulk and rayleigh waves. Defektoskopiya]. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2017, no. 8, pp. 20-28 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1061830917080046.

15. Petrov K.V., Sokov M.Yu., Murav'eva O.V. [Influence of the design features of the electromagnetic-acoustic transducer through passage on the results of the control of cylindrical objects]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2018, no. 2, pp. 135-146 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-2-135-146.

16. Murav'eva O.V., Brester A.F., Murav'ev V.V. [Comparative sensitivity of informative parameters of the electromagnetic-acoustic multiple-shadow method of bar testing De-fektoskopiya]. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2022, no. 8, pp. 36-51 (in Russ.). DOI 10.31857/S0130308222080048.

17. Strizhak V.A., Pryakhin A.V., Khasanov R.R., Efremov A.B. [Hardware-software complex for rods control by mirror-shadow method using multiple reflections]. Intellektual'nye sistemy v proizvodstve, 2017, no. 6, pp. 565-571 (in Russ.). DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-6-565-571.

18. Muraveva O., Muravev V., Volkova L. Acoustic properties of low-carbon 2% Mn-doped steel manufactured by laser powder bed fusion technology, 2022, vol. 51. DOI 10.1016/j.addma.2022.102635.

Acoustic and Electromagnetic Properties of Civilian Gun Blanks

V. V. Muravyov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia

O. V. Muravyova, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia

T. R. Vagapov, Graduate Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. E. Makarova, Master Students, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

E. A. Stepanova, bachelor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The non-uniformity of acoustic properties of civilian gun barrel blanks has been studied. Four samples of civilian gun barrel blanks from the same batch, obtained after the first stage of the technological process, were subjected to the study. The blanks are of cylindrical shape with diameter of 34 mm, 210 mm in length and are made of high quality carbon steel 50A. In the research, a control echo-shadow method of multiple reflections was used with the application of an electromagnetic-acoustic transducer and a piezoelectric transducer based on a polyvinyl-dente-fluoride film for excitation and reception of waves. On the basis of the studies carried out using the echo-shadow method of multiple reflections on the samples of civilian gun barrel blanks, the following informative parameters were measured: the speed of the transverse, longitudinal and Rayleigh waves, and the elastic moduli and Poisson's ratio were calculated on their basis. The echo-shadow method of multiple reflections showed high sensitivity of the measured informative parameters of ultrasonic waves to material inhomogeneities in individual sections along the length of barrel blanks, which may be due to violations of machining processes.

For transverse and Rayleigh waves, such parameters as the coefficient of detectability and dispersion are calculated, which also indicate the inhomogeneity of properties in individual sections with respect to length of the sample blanks. Using a micrometer, the diameters of the bars were measured at 17 points, and the minimum and maximum values were recorded at each point, which correlates with the results of measuring the wave velocities.

The relative values of the electrical conductivity on each bar along the generatrix in 4 positions of the circle (0, 90, 180, and 270 degrees) were measured. Deviations of the obtained electric conductivity values up to 5% being the evidence of local inhomogeneities of electric properties revealing structural inhomogeneity is observed. Value inhomogeneity of coercitive force up to 0.7 A/cm along blank circumference.

Keywords: the velocities of transverse, longitudinal and Rayleigh acoustic waves, elastic modulus, echo-shadow method of multiple reflections, blanks of civilian gun barrels.

Получено: 01.03.23

Образец цитирования

Акустические и электромагнитные свойства заготовок стволов гражданских ружей / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, Т. Р. Вагапов, В. Е. Макарова, Е. А. Степанова // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 1. С. 59–70. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-59-70.

For Citation

Murav'ev V.V., Murav'eva O.V., Vagapov T.R., Makarova V.E., Stepanova E.A. [Acoustic and electromagnetic properties of civilian gun blanks]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 1, pp. 59-70 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-59-70.