

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАЗА ШАРНИРНОЙ ВИЛКИ

А.П. АРХАРОВ, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: arharovanatoliy@yandex.ru

© Архаров А.П., 2021

Отмечена актуальность темы, которой посвящены выполненные разработки. Проведен анализ известных способов и устройств для измерения параметров пазов, не сопряженных с базовой поверхностью детали. Выявлены их существенные недостатки. Приведено описание предложенных способа и устройства для измерения пазов у шарнирной вилки. Проведен сравнительный анализ разработанных способа и устройства с аналогичными известными решениями. Отражены оригинальность разработок и достигаемый технический результат.

Ключевые слова: измерение, паз, вилка, точность, расположение, способ, устройство.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-39-44

ВВЕДЕНИЕ

В изделиях машиностроения встречаются механизмы, в составе которых применяются шарнирные вилки. Особенностью конструкции таких деталей является наличие пазов, не сопряженных с базовой поверхностью – цилиндрическим хвостовиком. На технологические и эксплуатационные показатели изделий с подобными деталями влияют такие параметры шарнирных вилок, как отклонение от симметричности пазов относительно оси хвостовика, отклонение ширины пазов. Контроль этих параметров чаще всего проводится альтернативным методом, не дающим количественной оценки несоответствия требованиям к детали и не позволяющим быстро скорректировать параметры технологического процесса и тем самым избежать последующего брака [1, 2]. Другой метод определения годности деталей по вышеупомянутым параметрам – измерение этих параметров. Шарнирную вилку можно измерить на координатно-измерительной машине [3, 4]. Однако, обладая высокой точностью и возможностями измерения различных деталей, такой способ имеет ограниченное применение из-за его высокой стоимости.

Существуют способ и устройство для измерения отклонения расположения пазов, выполненного на торце втулки [5]. Однако они не могут быть использованы при измерении пазов шарнирной вилки. Это связано с необходимостью иного базирования шарнирной вилки и другого размещения измерительного устройства, чем в известных способе и устройстве. По этим же причинам не могут быть использованы известные способ и устройство [5, 6] для измерения пазов на торце вала.

Существуют способ [7] и устройство [8] для измерения геометрических параметров корпусных деталей. Одним из таких параметров является симметричность пазов, не сопряженных с отверстием корпусной детали, относительно торцов ступицы. Базирование подобной детали выполняется по одному из торцов и отверстию. В то же время шарнирная вилка не содержит конструктивных элементов в виде отверстия и

ступицы, а расположение паза задается относительно оси ее хвостовика. Поэтому указанные способ и устройство не могут быть применены для измерения шарнирной вилки. Целью работы является разработка способа и устройства для измерения параметров паза шарнирной вилки с достижением при этом повышения точности измерения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проверки новизны предлагаемых решений применялся структурный анализ используемых на практике, описанных в научной литературе и в патентной документации способов и устройств для измерения параметров пазов, не сопряженных с базовой поверхностью детали. При разработке новых способа и измерительного средства применялся синтез таких элементов, которые в совокупности образуют единое целое, отвечающее критерию оригинальности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение поставленной цели достигнуто в разработанном способе измерения параметров паза шарнирной вилки. Его основу составляет способ измерения параметров паза, не сопряженного с отверстием детали [9].

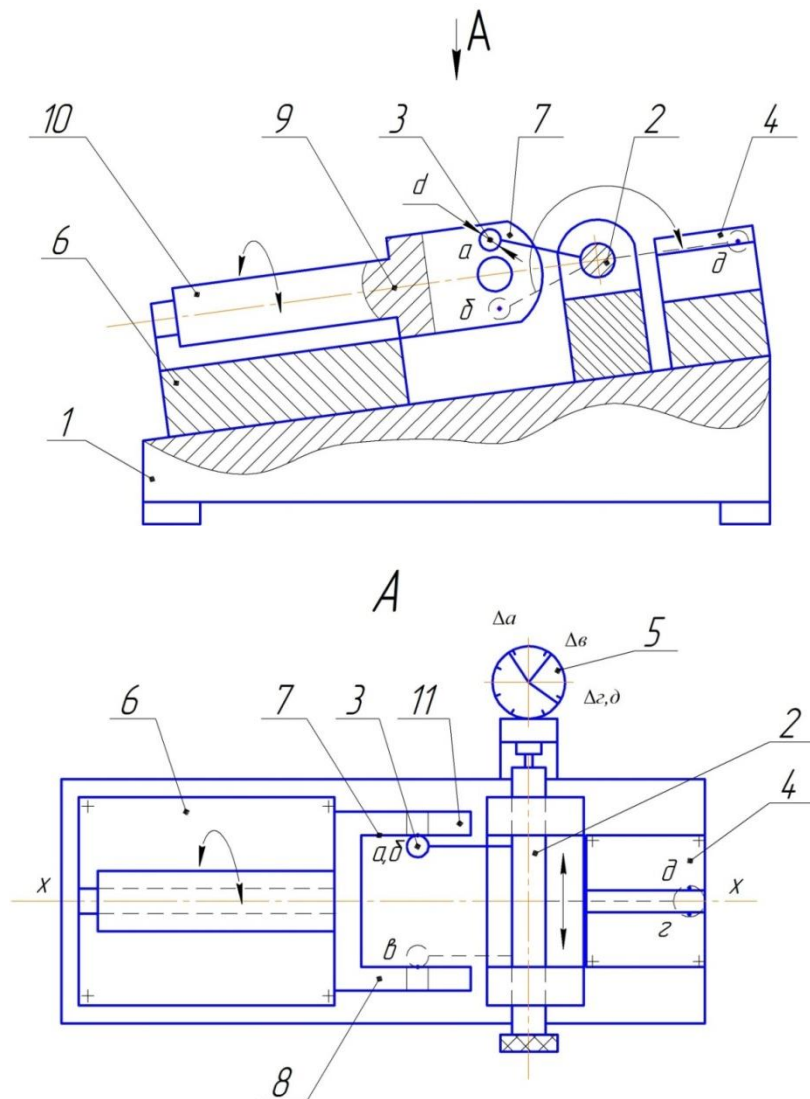
Разработанный способ заключается в следующем: шарнирную вилку базируют в наклонном корпусе путем установки ее хвостовой частью на базирующую призму с размещением ее ушек между базирующей и установочной призмами, обеспечивая при этом контакт измерительного щупа с одной из боковых поверхностей проверяемого паза. Взаимное угловое положение шарнирной вилки и наклонного корпуса выверяют путем возвратно-поворотных движений шарнирной вилки вокруг продольной оси хвостовой части на базирующей призме и щупа со штоком вокруг продольной оси упомянутого штока. Возвратно-поворотные движения измерительного щупа со штоком осуществляют в плоскости, параллельной общей биссекторной плоскости базирующей и установочной призм, достигая при этом неизменности показаний отсчетной головки при касании измерительного щупа с боковой поверхностью паза в двух крайних точках в направлении длины. Снимают первый отсчет. Вводят измерительный щуп в контакт с другой боковой поверхностью, снимают второй отсчет. Поворачивают измерительный щуп вокруг продольной оси штока и перемещают его вдоль этой оси, добиваясь центрирования измерительного щупа по установочной призме путем одновременного касания боковой рабочей поверхности щупа с рабочими поверхностями установочной призмы. Снимают третий отсчет. По разнице первых двух отсчетов и с учетом диаметра щупа определяют ширину паза, а по полуразности двух размахов, вычисленных соответственно по разностям первого и третьего, второго и третьего отсчетов, определяют отклонение от симметричности.

Сравнение разработанного способа с описанным в [9] показывает следующее: в разработанном способе шарнирную вилку базируют путем установки ее на базирующую призму, размещенную относительно установочной призмы с образованием общей биссекторной плоскости. Это позволяет расположить ось базовой поверхности шарнирной вилки в упомянутой плоскости. В известном способе базирование выполняется установкой объекта измерения торцом ступицы на установочную плоскость с прилеганием отверстия объекта измерения к центрирующим

пальцам. Такое базирование не обеспечивает расположения продольной оси базового отверстия в биссекторной плоскости установочной призмы. Сравнение рассматриваемых способов базирования показывает, что точность базирования, а значит, и точность измерения будет выше в разработанном способе. Кроме того, взаимодействие измерительного щупа с крайними точками боковой поверхности паза в направлении его длины обеспечивает возможность выверки углового положения шарнирной вилки в указанном способе.

Для осуществления предложенного способа разработано устройство для измерения параметров паза, не сопряженного с отверстием детали [10].

На рисунке показана общая схема устройства.



Общая схема устройства для измерения параметров паза шарнирной вилки

Устройство содержит наклонный корпус 1; шток 2, установленный на наклонном корпусе с возможностью поступательного движения вдоль своей продольной оси и возвратно-поворотных движений вокруг нее; измерительный щуп 3, выполненный с шарообразной боковой поверхностью и жестко закрепленный на штоке; установочную призму 4 с рабочими поверхностями, закрепленную на наклонном корпусе, выполненную и размещенную с возможностью центрирования по ее рабочим

поверхностям боковой шарообразной поверхности измерительного щупа; отсчетный узел 5, установленный на наклонном корпусе с возможностью взаимодействия своим измерительным наконечником со штоком, и базирующую призму 6, закрепленную на наклонном корпусе и размещенную относительно установочной призмы по другую сторону от продольной оси штока. Биссекторные плоскости упомянутых призм и расположены в общей биссекторной плоскости X-X. Шток размещен с возможностью касания упомянутой поверхности измерительного щупа с боковыми поверхностями 7 и 8 паза в их крайних в направлении длины паза точках *a* и *b* и расположен перпендикулярно своей продольной осью к общей биссекторной плоскости X-X. Шарнирная вилка 9 содержит хвостовую часть 10 и ушки 11.

Настройка устройства производится по образцовой детали.

Устройство работает следующим образом: при измерении на базирующую призму 6 устанавливают шарнирную вилку хвостовой частью с размещением ушек упомянутой вилки между базирующей и установочной призмами. При установке обеспечивают контакт измерительного щупа с боковой поверхностью 7 проверяемого паза. Угловое положение шарнирной вилки на наклонном корпусе выверяют путем возвратно-поворотных движений упомянутой вилки вокруг ее продольной оси на базирующей призме и возвратно-поворотных движений штока с измерительным щупом вокруг продольной оси упомянутого штока. Выверкой достигают неизменности показаний отсчетного узла при касании измерительного щупа боковой поверхностью 7 в двух крайних точках – *a* и *b* – в направлении длины паза. Снимают первый отсчет Δ_a отсчетного узла. Вводят измерительный щуп в контакт с боковой поверхностью 8 проверяемого паза в точке *e*, снимают второй отсчет Δ_e упомянутого узла. Поворачивают измерительный щуп со штоком вокруг продольной оси упомянутого штока и перемещают их вдоль этой оси, добиваясь центрирования измерительного щупа по установочной призме путем одновременного касания его боковой рабочей поверхности с рабочими поверхностями упомянутой призмы в точках *c* и *d*, снимая при этом третий отсчет отсчетного узла Δ_{cd} . Ширину проверяемого паза *B* находят по формуле

$$B = (\Delta_a - \Delta_e) + d,$$

где Δ_a – первый отсчет; Δ_e – второй отсчет; *d* – диаметр измерительного щупа.

Определяют первый размах W_1 по разнице первого Δ_a и третьего Δ_{cd} отсчетов, второй размах W_2 – по разнице второго Δ_e и третьего Δ_{cd} отсчетов, а отклонение от симметричности $\Delta_{сим}$ – по формуле $\Delta_{сим} = (W_1 - W_2)/2$.

Сравнение разработанного устройства с известным [10] показывает, что они различаются базирующими элементами, а также выполнением и размещением измерительного щупа. Оснащение разработанного устройства базирующей призмой и ее размещение относительно установочной призмы с образованием общей биссекторной плоскости позволяют расположить ось базовой поверхности шарнирной вилки в упомянутой плоскости. В то же время в указанном известном устройстве установочная плоскость, на которую объект измерения устанавливается ступицей, и центрирующие пальцы, к которым отверстием прилегает объект измерения, не обеспечивают расположение оси базового отверстия в биссекторной плоскости установочной призмы. Сравнение базирующих элементов показывает, что в разработанном устройстве упомянутые элементы повышают точность базирования, а значит, и точность измерения. Кроме того, измерительный щуп выполнен и размещен в устройствах с возможностью взаимодействия с двумя крайними точками боковой

поверхности паза: в известном – в направлении глубины паза, а в разработанном – в направлении длины паза. Такие конструктивные особенности разработанного устройства позволяют при его использовании выверить угловое положение шарнирной вилки и решить поставленную задачу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный структурный анализ способов и средств, используемых при измерении пазов, не сопряженных с базовой поверхностью детали, а также известных из литературных источников и патентной документации, выявил их ограниченные технологические возможности, а в некоторых случаях – снижение точности измерения. Разработанный способ и устройство позволяют устранить отмеченные недостатки и могут быть использованы на машиностроительных предприятиях при измерении отклонений от симметричности и ширины пазов шарнирных вилок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. СПб.: Политехника, 2009. Ч. 1. 530 с.
2. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты: учебник. М.: Академия, 2009. 462 с.
3. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: справочник. В 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во стандартов, 1989. Т. 2: Контроль деталей, 208 с.
4. Балонкина И.И., Кутай А.К., Сорочкин Б.М., Тайц Б.А. Точность и производственный контроль в машиностроении: справочник, под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. Л.: Машиностроение, 1983. 368 с.
5. Архаров А.П., Боярчук Б.Ю. Измерение параметров паза на торце втулки // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. № 1 (33). С. 53–56.
6. Архаров А.П. Измерение параметров паза на торце вала // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2016. № 1 (29). С. 19–21.
7. Архаров А.П., Зыков Д.Ю. Способ измерения параметров паза и ступицы на корпусных деталях // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 1 (1). С. 21–25.
8. Патент РФ 2693882. *Устройство для измерения параметров паза и ступицы корпусной детали* // Архаров А.П. Заявл. 15.10.2018. Опубл. 05.07.2019, Бюл. № 19.
9. Архаров А.П. Измерение параметров паза, не сопряженного с отверстием детали // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2015. № 1 (27). С. 71–73.
10. Патент РФ 2559169. *Устройство для измерения паза, не сопряженного с отверстием детали* // Архаров А.П., Любимов К.С. Заявл. 20.05.2014. Опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.

Для цитирования: Архаров А.П. Измерение параметров паза шарнирной вилки // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 2 (10). С. 39–44.

HINGED FORK GROOVE PARAMETERS MEASURING

A.P. ARKHAROV, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: arharovanatoliy@yandex.ru

The relevance of the research topic is noted. Analysis of the known methods and devices for measuring the parameters of grooves that are not conjugated with the base surface of the part is done. Significant deficiencies are identified. The description of the proposed method and device for hinged fork groove measuring is given. Comparative analysis of the developed method and device with similar known designs and solutions are carried out. The development originality and the achieved technical result are reflected in this work.

Keywords: measurement, groove, fork, accuracy, positioning, method, device.

REFERENCES

1. Paley M.A., Romanov A.B., Braginskiy V.A. Dopuski i posadki: Spravochnik v 2 ch. [Adjustments and allowances: directory in 2 parts]. St. Peterburg: Politehnika, 2009. Part 1, 530 p.
2. Zaitsev S.A., Griбанov D.D., Tolstov A.N., Merkulov R.V. Kontrolno-izmeritelnye pribory i instrumenty: uchebnik [Control and measuring devices and tools: textbook]. Moscow: Akademiya, 2009. 462 p.
3. Edinaya Sistema dopuskov i posadok SEV v mashinostroenii i priborostroenii spravochnik v 2 ch. [Unified system of adjustments and allowances CMEA in mechanical engineering and instrument making. Directory in 2 parts]. Moscow: Izd-vo standartov, 1989, part 2, Kontrol detaley [Control of parts], 208 p.
4. Tochnost i proizvodstvennyy kontrol v mashinostroyenii: Spravochnik [Accuracy and production control in mechanical engineering: Handbook]. I.I. Balonkina, A.K. Kutai, B.M. Sorochkin, B.A. Taits; under total. ed. A.K. Kutai, B.M. Sorochkin. Leningrad: Mashinostroenie, 1983. 368 p.
5. Arkharov A.P., Boyarchuk B.Y. Measuring the parameters of groove at the bushing end. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. No 1 (33), pp. 53–56. (In Russian).
6. Arkharov A.P. Method to measure parameters of groove on shaft end face. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. No 1 (29), pp. 19–21. (In Russian).
7. Arkharov A.P., Zыkov D.Y. Method of measurement of groove and body part hub. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2019. No 1 (1), pp. 21–25. (In Russian).
8. Patent RF 2693882 *Ustroistvo dlya izmereniya parametrov paza I stupici korpusnoi detali* [Device for measuring parameters of groove and hub of structural part]. Arkharov A.P. Declared 15.10.2018. Published 05.07.2019, Bulletin No 19.
9. Arkharov A.P. Method to measure parameters of groove mismatched with part bore. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. No 1 (27), pp. 71–73. (In Russian).
10. Patent RF 2559169 *Ustroistvo dlya izmereniya paza, nesopryazhennogo s otverstiem detali* [Device for parameters measurement of slot not aligned with part hole]. Arkharov A.P., Ljubimov K.S. Declared 20.05.2014. Published 10.08.2015, Bulletin No 22.

Поступила в редакцию/received: 14.12.2020; после рецензирования/revised: 03.03.2021;
принята/accepted: 09.03.2021

Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 2 (10), 2021

КОНТРОЛЬ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ СТАЛЬНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА С ПОМОЩЬЮ ПЛЕНОЧНЫХ МАГНИТОЭЛАСТОВ И МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ

С.Е. ИЛЬЯШЕНКО, канд. физ.-мат. наук, Л.Е. АФАНАСЬЕВА, канд. физ.-мат. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: svilyashenko@yandex.ru

© Ильяшенко С.Е., Афанасьева Л.Е., 2021

Представлены результаты экспериментальных исследований кристаллографической текстуры стального листового проката по анизотропии магнитных параметров. Для визуализации магнитных полей рассеяния использовали пленочные магнитоэласты и магнитную суспензию. Показано, что контраст изображений ромба Корзунина над стальным листом с ребровой текстурой в магнитоэластах с микрокапсулированной магнитной жидкостью сравним с контрастом, достигаемым с помощью жидких магнитных суспензий. Данные индикаторы поля можно использовать для качественного обнаружения анизотропии в листовых материалах и определения осей легкого намагничивания.

Ключевые слова: стальной листовой прокат, текстура, анизотропия, ромб Корзунина, магнитоэласт, ферромагнитная суспензия.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-45-50

ВВЕДЕНИЕ

От кристаллографической текстуры, под которой понимается преимущественная пространственная ориентация зерен в поликристалле, зависят механические и физические свойства металлов [1–4]. Например, известно, что железо и его сплавы имеют максимальную прочность вдоль кристаллографических направлений $\langle 111 \rangle$, а наименьшую – вдоль $\langle 100 \rangle$. Создание совершенной кристаллографической текстуры позволяет повысить эксплуатационные характеристики сплавов. Часто при изготовлении деталей возникает и обратная задача – получение изотропного материала, не обладающего текстурой. В связи с этим важной задачей является разработка неразрушающих методов контроля, позволяющих устанавливать тип и степень совершенства кристаллографической текстуры материала.

Зависимость магнитных структурно-чувствительных параметров от кристаллографической анизотропии дает возможность использовать их для текстурного анализа. Г.С. Корзуниным разработан новый неразрушающий магнитопорошковый способ обнаружения текстуры в листовых материалах [1–3] и созданы магнитные текстурометры, не имеющие мировых аналогов и позволяющие определять кристаллографическую текстуру в движущейся полосе электротехнической стали. Суть обнаруженного эффекта состоит в том, что геометрия индикаторных рисунков полей рассеяния, полученных при намагничивании листового материала намагничивающей системой (полюсом постоянного магнита или электромагнита) перпендикулярно плоскости листа, соответствует типу текстуры испытуемого материала. Над изотропным листом наблюдается круг, над кубической текстурой – квадрат [1]. Над образцом с ребровой текстурой появляется четкий ромб, форма которого (отношение длин диагоналей) не зависит от формы намагничивающего полюса [1–3]. Направление большей диагонали ромба всегда совпадает с направлением легкого намагничивания.

Магнитопорошковая дефектоскопия является широко распространенным стандартизованным методом неразрушающего контроля качества стальных деталей и инструмента [5]. Разработанная номенклатура водных и масляных магнитных суспензий на основе оксидов железа обеспечивает высокую чувствительность метода. Вместе с тем операции нанесения суспензии на контролируемое изделие путем окунания или поливом с помощью шланга не технологичны и ограничивают производительность труда контролера.

В данной статье для магнитного контроля кристаллографической текстуры стального листового проката предлагается использовать визуализирующие эластичные полимерные пленки, импрегнированные микрокапсулированной магнитной жидкостью. При микрокапсулировании [6, 7] микрокапли магнитной жидкости заключаются в тонкую оболочку, масса которой составляет малую долю (единицы процентов) от общей массы. Микрокапсулирование сводится к диспергированию магнитной жидкости в подходящей жидкой или газовой среде с последующим покрытием капель оболочкой – слоем капсулирующего вещества. Жидкая оболочка микрокапсул затем подвергается отверждению под действием температуры или химических реагентов. В настоящее время выпуск этих индикаторов поля освоен промышленностью и они находят практическое применение.

Цель работы: оценить возможности контроля кристаллографической текстуры стального листового проката с помощью пленочного магнитоэласта и магнитной суспензии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве образцов для исследования использовали анизотропные листы трансформаторной стали толщиной 0,4 мм.

Для визуализации индикаторного рисунка, отражающего анизотропию магнитных характеристик листового ферромагнитного материала, применяли пленочный магнитоэласт [7] и магнитную суспензию на магнетитовой основе.

Магнитную суспензию наносили на поверхность стального листа, пленочный магнитоэласт прикладывали к сухой чистой поверхности образца без дополнительного прижатия. Намагничивающей системой служил цилиндрический постоянный магнит ($\varnothing 6 \times 12$ мм), который помещали с обратной стороны листа. Величину зазора L между магнитом и образцом изменяли от 3 до 0 мм с шагом 1 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Механизм формирования оптического контраста в магнитных суспензиях связан с возникновением силы \mathbf{F} взаимодействия между отдельной частицей и источником неоднородного поля, $\mathbf{F} = \mathbf{A}\chi V$, где $\mathbf{A} = B \frac{d\mathbf{B}}{dr} \frac{\mathbf{r}}{r}$ (\mathbf{r}/r – единичный вектор, направленный в сторону наибольшего изменения магнитной индукции B); χ – магнитная восприимчивость. Под действием этой силы частицы суспензии перемещаются и концентрируются в областях с наибольшим градиентом поля. Области с большой концентрацией частиц становятся менее прозрачными и поэтому при визуальном наблюдении выглядят более темными [8, 9].

На рис. 1 представлены изображения индикаторных рисунков из ферромагнитной суспензии, полученных на листе стали при различных значениях зазора L . Следует отметить высокую разрешающую способность и визуализирующие возможности этого индикатора поля. На всех четырех частях рисунка прослеживается изображение ромба Корзунина, по которому несложно определить направление

большей диагонали. При уменьшении зазора между постоянным магнитом и образцом до 1...0 мм дополнительно выявляются границы зерен.

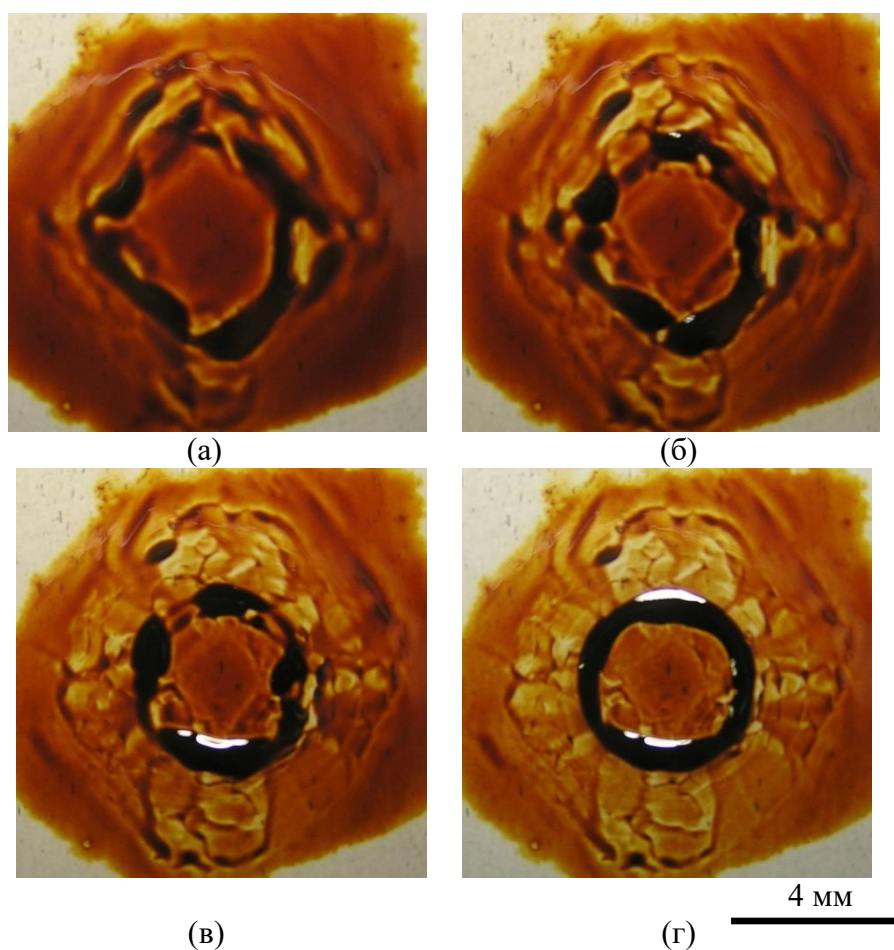


Рис. 1. Эволюция ромба Корзунина при изменении расстояния L между образцом и магнитом: $L = 3$ (а), 2 (б), 1 мм (в); нулевой зазор (г); индикатор – магнитная суспензия

Механизм формирования оптического контраста в испытуемых магнитоэластах отличается от контраста, возникающего в традиционных магнитных суспензиях [8–11]. В магнитоэластах описанный выше механизм формирования оптического контраста практически не действует, так как перемещение частиц ограничено оболочкой капсул. Оптический контраст в данном случае можно объяснить образованием под действием внешнего поля изолированных друг от друга цепочек частиц, ориентирующихся вдоль силовых линий. Как показано в работе [6], такие цепочки обуславливают высокую прозрачность композита по сравнению с исходным неориентированным состоянием.

Магнитоэласты обладают меньшей разрешающей способностью, чем магнитные суспензии. Этот индикатор поля чувствителен к величине зазора между листом и постоянным магнитом. При значении $L = 3$ мм ромб Корзунина незаметен. При нулевом зазоре он вырождается в круг, отражая форму постоянного магнита (рис. 2). При данных условиях эксперимента оптимальной для анализа текстуры является величина зазора 1...2 мм.

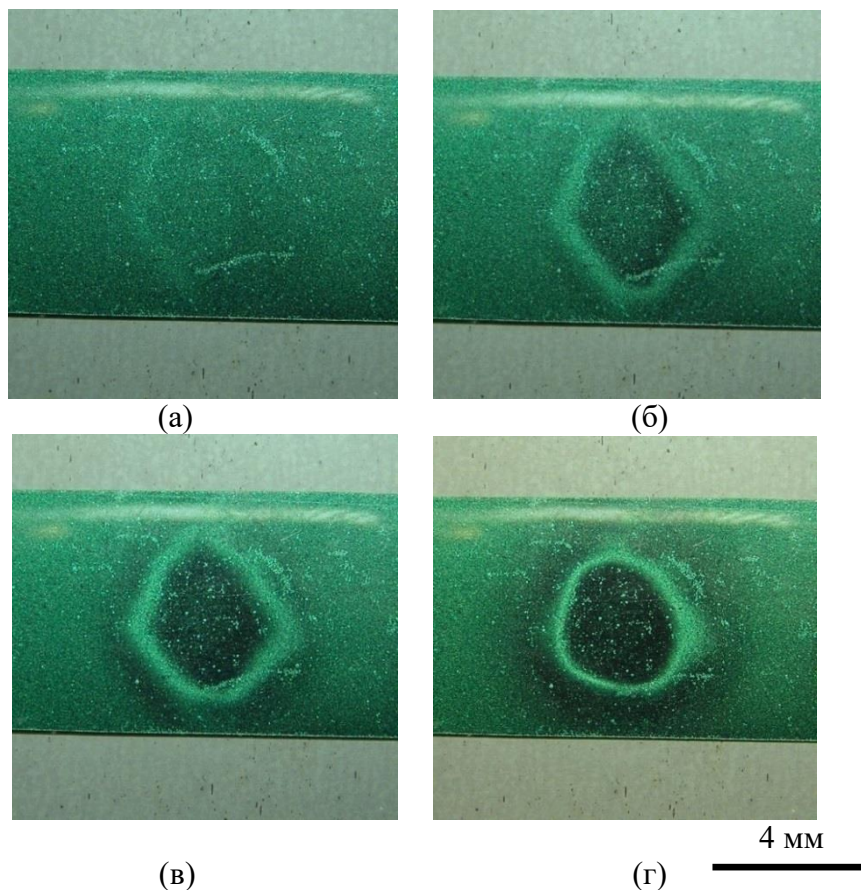


Рис. 2. Эволюция ромба Корзунина при изменении расстояния L между образцом и магнитом: $L = 3$ (а), 2 (б), 1 мм (в); нулевой зазор (г); индикатор – магнитоэласт

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что контраст изображений ромба Корзунина над стальным листовым прокатом с ребровой текстурой, полученных в магнитоэластах с микрокапсулированной магнитной жидкостью, сравним с контрастом, достигаемым с помощью жидких магнитных суспензий. Данные индикаторы поля можно использовать для качественного обнаружения анизотропии в листовых материалах и определения осей легкого намагничивания.

Пленочные магнитоэласты обладают достаточно хорошими визуализирующими возможностями. Эти пленки являются многоцветными. Благодаря эластичности с их помощью можно контролировать кривые поверхности, вырезать нужного размера и геометрической формы без ущерба качеству. Пленки данного вида удобны в эксплуатации и перспективны для проведения экспресс-контроля в полевых или цеховых условиях и при обследовании крупногабаритных стальных конструкций. Использование пленочных магнитоэластов с микрокапсулированной магнитной жидкостью в качестве индикаторных сред расширяет функциональные возможности магнитопорошковой дефектоскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корзунин Г.С. Магнитные методы определения кристаллической текстуры. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. 128 с.
2. Дякин В.В., Корзунин Г.С., Литвиненко Л.А., Кайбичева С.Л. О магнитопорошковом методе контроля кристаллографической текстуры электротехнической стали // *Дефектоскопия*. 2004. № 5. С. 63–78.

3. Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Худорожкова Ю.В., Корзунин Г.С. Влияние типа кристаллографической текстуры на анизотропию параметров магнитных полей рассеяния стального листового проката // *Физическая мезомеханика*. 2019. Т. 22. № 3. С. 54–64.

4. Матюк В.Ф. Состояние неразрушающего контроля штампуемости листового проката сталей // *Неразрушающий контроль и диагностика*. 2012. № 3. С. 15–42.

5. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2006. Т. 4. 736 с.

6. Jin S., Tiefel T.N., Wolfe R. Directionally-conductive, optically-transparent composites by magnetic alignment // *IEEE transactions on magnetics*. 1992. V. 28. № 5. P. 2211–2213.

7. Ardizzone V.A. Viewing film for dc magnetic fields. URL: <http://amasci.com/amateur/magnerite.html> (дата обращения: 22.03.2021).

8. Гречишкин Р.М., Гусев М.Ю., Чигиринский С.А., Ильяшенко С.Е., Афанасьева Л.Е., Мамкина Н.О. Магнитооптические твердотельные индикаторные среды и их технические применения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал)*. 2007. № S2. С. 99–110.

9. Grechishkin R., Chigirinsky S., Gusev M., Cugat O., Dempsey N.M. Magnetic imaging films. В. Azzarboni et al. (eds.). *Magnetic Nanostructures in Modern Technology*. Springer, Dordrecht, 2008. P. 195–224.

10. Гасанов О.В., Иванова А.И., Афанасьева Л.Е., Калимуллина Э.Т., Гречишкин Р.М. Электронно-микроскопический контроль доменной структуры и полей рассеяния магнитных элементов МЭМС // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2015. № 9. С. 54–57.

11. Афанасьева Л.Е., Зигерт А.Д., Иванова А.И., Гречишкин Р.М. Магнитооптическая визуализация дефектов сварных соединений // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 1 (5). С. 13–20.

Для цитирования: Ильяшенко С.Е., Афанасьева Л.Е. Контроль кристаллографической текстуры стального листового проката с помощью пленочных магнитоэластов и магнитной суспензии // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 2 (10). С. 45–50.

CONTROL OF THE CRYSTALLOGRAPHIC TEXTURE OF STEEL SHEETS USING FILM MAGNETOELASTS AND MAGNETIC SUSPENSION

S.E. ILYASHENKO, Cand. Sc., L.E. AFANASIEVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: svilyashenko@yandex.ru

The results of experimental studies of the crystallographic texture of steel sheet products by the anisotropy of magnetic parameters are presented. To visualize the stray magnetic fields, we used film magnetoelasts and a magnetic suspension. It is shown that the contrast of images of a Korzunin rhombus above a steel sheet with a ribbed texture in magnetoelasts with a microencapsulated magnetic fluid is comparable to the contrast achieved

with liquid magnetic suspensions. These field indicators can be used to qualitatively detect anisotropy in sheet materials and determine the axes of easy magnetization.

Keywords: steel sheet products, texture, anisotropy, Korzunin's rhombus, magnetoelast, ferromagnetic suspension.

REFERENCES

1. Korzunin G.S. Magnitnyye metody opredeleniya kristallicheskoy tekstury [Magnetic methods for determining the crystal texture]. Yekaterinburg: UrO RAN, 1995. 128 p.
2. Dyakin V.V., Korzunin G.S., Litvinenko L.A., Kaibicheva S.L. On the magnetic particle method for controlling the crystallographic texture of electrical steel. *Defektoskopiya*. 2004. No 5, pp. 63–78. (In Russian).
3. Gorkunov E.S., Zadvorkin S.M., Khudorozhkova Yu.V., Korzunin G.S. Influence of the type of crystallographic texture on the anisotropy of the parameters of magnetic scattering fields of steel sheet metal. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2019. V. 22. No 3, pp. 54–64. (In Russian).
4. Matyuk V.F. The state of non-destructive testing of the stamping ability of steel sheets. *Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika*. 2012. No 3, pp. 15–42. (In Russian).
5. Nerazrushayushchiy kontrol: spravochnik: v 8 t. [Non-destructive testing: Handbook: in 8 v.], under total. ed. V.V. Klyuev. Moscow: Mashinostroenie, 2006. V. 4. 736 p.
6. Jin S., Tiefel T.N., Wolfe R. Directionally-conductive, optically-transparent composites by magnetic alignment. *IEEE transactions on magnetics*. 1992. V. 28. No 5, pp. 2211–2213.
7. Ardizzone V.A. Viewing film for dc magnetic fields. URL: <http://amasci.com/amateur/magnerite.html> (date accessed: 22.03.2021).
8. Grechishkin R.M., Gusev M.Yu., Chigirinsky S.A., Ilyashenko S.E., Afanasieva L.E., Mamkina N.O. Magneto-optical solid-state indicator media and their technical applications. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhn. zhurnal)*. 2007. No S2, pp. 99–110. (In Russian).
9. Grechishkin R., Chigirinsky S., Gusev M., Cugat O., Dempsey N.M. Magnetic imaging films. B. Azzerboni et al. (eds.). *Magnetic Nanostructures in Modern Technology*. Springer, Dordrecht, 2008, pp. 195–224.
10. Gasanov O.V., Ivanova A.I., Afanasieva L.E., Kalimullina E.T., Grechishkin R.M. Electron-microscopic control of the domain structure and stray fields of magnetic elements of MEMS. *Poverkhnost. Rentgenovskiy, sinkhrotronnyy i neytronnyy issledovaniya*. 2015. No 9, pp. 54–57. (In Russian).
11. Afanasieva L.E., Ziegert A.D., Ivanova A.I., Grechishkin R.M. Magneto-optical visualization of defects in welded joints. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»*. 2020. No 1 (5), pp. 13–20. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 21.03.2021; после рецензирования/reviced: 25.03.2021; принята/accepted: 31.03.2021