

Національної академії наук України. – 1998. – № 8. – С. 59–64. 4. *Аніщенко Г.О.* Повзучість та руйнування пластин з надрізами в умовах циклічного навантаження / *Г.О. Аніщенко* // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Динаміка і міцність машин. – Х: НТУ «ХПІ» 2013. – № 58 (1031). – С. 16–23. 5. *Walczak J.* On the analysis of creep stability and rupture / *J. Walczak, J. Sieniawski, K. Bathe* // Computers & structures. – 1983. – Vol. 17, № 5-6. – P. 783–792. 6. *Савин Г.М.* Довідник з концентрації напружень / *Г.М. Савин, В.І. Тульчій*. – К.: Вища школа, 1976. – 412 с.

Bibliography (transliterated): 1. Morachkovskij O.K. O nelinejnyh zadachah polzuchesti tel pri vozdejstvii bystro oscilliruyushego polya. O.K. Morachkovskij. Prikladnaya mehanika. 1992. Vol. 28, No 8. 17-23. Print. 2. Anischenko G.O. Polzuchest' i povrezhdaemost' v telah pri ploskom napryazhennom sostoyanii.

G.O. Anischenko, D.V. Breslavskij. Dinamika i prochnost' mashin. Resp. mezhved. n.-t. sbornik. Kharkiv: KhGPU. 1997. Vol. 55. 23–32. Print. 3. Anischenko G.O. Vliyanie ciklicheskogo nagruzheniya na polzuchest' i dlitel'nyuy prochnost' plastiny s otverstiyami. G.O. Anischenko, D.V. Breslavskij, O.K. Morachkovskij. Dopovidi Nacional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny. 1998. No 8. 59–64. Print. 4. Anishchenko H.O. Povzuchist' ta rujnuvannya plastyn z nadrizamy v umovakh cyklichnoho navantazheniya. H.O. Anishchenko. Visnyk NTU "KhPI". Zbirnyk naukovykh prac'. Seriya: Dynamika i micnist' mashyn. Kharkiv: NTU "KhPI" 2013. No 58 (1031). 16–23. Print. 5. Walczak J. On the analysis of creep stability and rupture. J. Walczak, J. Sieniawski, K. Bathe. Computers & structures. 1983. Vol. 17, No 5-6. 783–792. Print. 6. Savyn H.M. Dovidnyk z koncentraciyi napruzhen'. H.M. Savyn, V.I. Tul'chij. Kyiv: Vyshcha shkola, 1976. 412. Print.

Надійшла (received) 15.04.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аніщенко Галина Оттівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Теоретичної механіки, Національний технічний університет «ХПІ»; тел.: 707-63-73

Anischenko Galina Ottivna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent of the Department of Engineering Mechanics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: 707-63-73

УДК 534.1 : 539.3

К. В. ВАКУЛЕНКО; И. Б. КАЗАК; С. Ю. СОТРИХИН; В. Г. ЯРЕЩЕНКО

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА НА ЕГО ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В работе рассмотрены вопросы практического определения надежности конструкции посредством метода контроля степени деградации структуры материала в процессе эксплуатации. Статья посвящена использованию тензометрического метода для выявления зарождения усталостных трещин докритических размеров в сталях и элементах несущих конструкций. Инструментальный метод позволяет уменьшить затраты на проведение опытной эксплуатации конструкций с продолженным изначально назначенным сроком службы. Экспериментальные данные, полученные методами тензорегистрации и фиксации отскока металлического шарика хорошо согласуются между собой.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, ударное нагружение, тензометрия, деформация.

Введение. Определение остаточного ресурса элементов конструкций, выполненных из различных сталей представляет большой практический интерес. Важным фактором, влияющим на прочность элемента конструкции, является состояние его поверхности. Поверхностное упрочнение позволяет создать в поверхностном слое материала такое структурное состояние, которое повышает сопротивление зарождению усталостных трещин, препятствует (или затрудняет) накопление, движение и выход на поверхность дефектов кристаллического строения материала. Состояние поверхности можно исследовать при помощи различных известных способов. Одним из таких способов неразрушающего контроля для оценки качества материалов конструкций является метод широкополосного электротензометрирования [1, 2].

Состояние научной проблемы. Наличие эффективного метода контроля степени деградации струк-

туры материала в процессе эксплуатации является важным вопросом практического определения надежности конструкции. Для контроля работоспособности готового изделия необходимо применять методы неразрушающего контроля. Использование метода динамической широкополосной тензометрии эффективно наряду с методами рентгенокопии, измерением магнитных характеристик и другими. Этот метод в настоящее время является одним из наиболее изученных и надежных [3, 4].

Цель работы. Целью работы было экспериментальное исследование влияния состояния поверхностного слоя образцов на распространение в них волн деформации.

Постановка эксперимента. Из прямоугольных заготовок стали 14X17H2 размером 180x50x6 мм были изготовлены образцы в соответствии с эскизом

© К. В.Вакуленко; И. Б.Казак; С. Ю.Сотрихин; В. Г. Ярещенко, 2015

(рис. 1) толщиной 4 мм с припуском на шлифование после термообработки.

Термообработку образцов проводили по следующему режиму: нагрев до 1050°C, выдержка 40 минут, закалка в масле, отпуск в течение 2-х часов при 650°C с последующим охлаждением в воде. Затем образцы были шлифованы со всех сторон на глубину 0,5 мм. После термообработки сталь имеет твердость $HV\ 2000\ \text{МПа}$, $\sigma_{0,2} = 635\ \text{МПа}$ и $\sigma_b = 835\ \text{МПа}$.

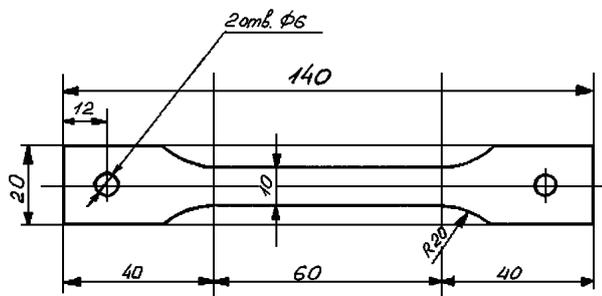


Рисунок 1 – Эскиз образца для испытаний

На рис 2 приведена схема наклейки тензодатчиков и закрепления образца на опорной плите. На обеих сторонах образца 1 в его центре наклеены тензодатчики 3. Для проведения испытаний осуществлялось шарнирное опирание образца. С этой целью по торцам образца с нижней и верхней сторон, при по-

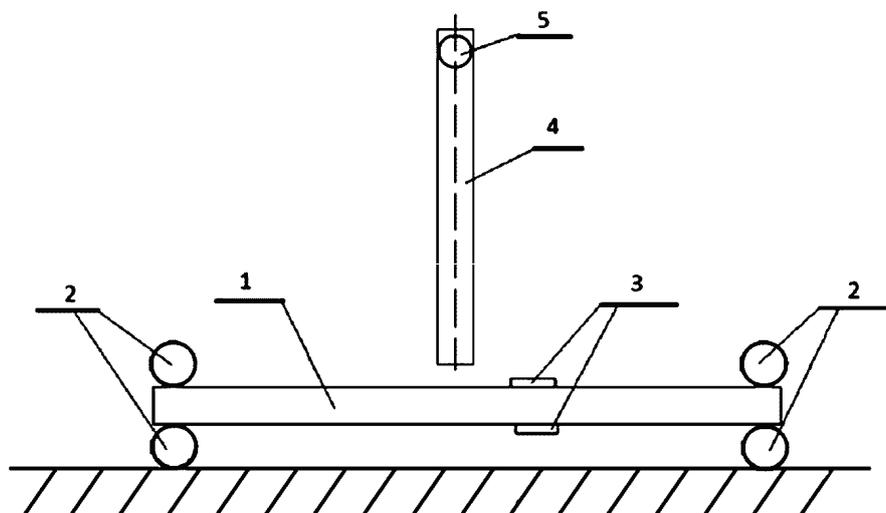


Рисунок 2 – Схема закрепления образца

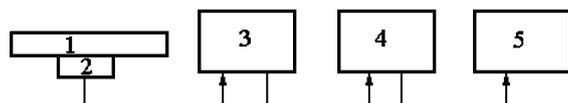


Рисунок 3 – Блок-схема экспериментальной установки

На рис. 3 представлена блок-схема измерений, которая позволяет регистрировать текущие значения деформаций во времени и измерять временные интервалы с заданной точностью.

Сигналы с тензорезисторов 2, наклеенных на образец 1, поступают на тензоусилитель 3, а затем через АЦП 4 на ноутбук 5, где и происходит хранение и обработка результатов испытаний. Тензометрический

мощи клея, закреплялись алюминиевые стержни 2. Затем вся конструкция зажимами притягивалась к массивной плите. Для нанесения удара в необходимую точку использовалась стеклянная трубка 4, расположенная вертикально, торец которой находится непосредственно над точкой приложения нагрузки. Нагружение производилось металлическим шариком 5 из стали ШХ15 массой 16,3 гр. и диаметром 15,84 мм. Высота сброса шарика составляла 1,5 м.

Преимущества использования метода элетротензометрии состоят в следующем: малая база и масса самих датчиков обеспечивают достоверную регистрацию деформации при больших ускорениях, кроме того эти же параметры позволяют наклеивать датчики в любых, даже самых труднодоступных местах [5]. Для проведения измерений использовались фольговые тензорезисторы типа КФ5П1-1-100-Б-12 сопротивлением 100 Ом.

Характеристики тензометрического усилителя:

- число измерительных каналов 8;
- несущая частота, кГц, 1000;
- полоса рабочих частот, кГц, 0,04 – 200;
- минимальная регистрируемая деформация, $30 \cdot 10^{-6}$;
- сопротивление используемых тензодатчиков, Ом, 50 – 200.



Рисунок 4 – Регистрация отскока шарика

усилитель работает на принципе амплитудной модуляции с несущей частотой 1000 кГц.

Измерение деформаций выполняется по мостовой схеме. Четверть моста находится в измерительной части, четверть – в калибровочной, а оставшаяся половина – в тензоусилителе. Для минимизации тока в измерительной диагонали производится подстройка моста по активной и реактивной составляющим со-

противления.

Непосредственно перед проведением эксперимента на градуировочном устройстве проводилась градуировка каналов усиления. Градуировочное устройство – это приспособление, работа которого основана на принципе чистого изгиба балки, на которую наклеены тензодатчики выносного плеча мостовой схемы (рабочие тензодатчики, наклеенные на испытуемом объекте составляют второе выносное плечо измерительной схемы). Задавая величину прогиба, которая пересчитывается в деформацию и, сопоставляя ее с электрическим напряжением на выходе АЦП, строили градуировочные зависимости $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}(U)$, где $\dot{\epsilon}$ – относительная деформация, U – напряжение на выходе АЦП.

Наряду с тензометрическим методом использовали метод измерения величины отскока сбрасываемого шарика. Величина отскока измерялась по гра-

дуировочной шкале с регистрацией процесса нагружения при помощи видеокамеры (рис. 4).

Исследование деформаций образца при ударе

Измерения волн деформации на поверхностях образца производились при ударе шариком поочередно как с наклепанной, так и с ненаклепанной стороны и регистрировались с обеих сторон (непосредственно возле точки удара и с противоположной стороны образца). Наклеп поверхности образца выполнялся методом ударного воздействия при помощи инструмента с электромеханическим приводом.

На рис. 5 приведены итоговые осциллограммы с датчиков, находящихся непосредственно возле места удара. Сплошная линия соответствует случаю удара по наклепанной стороне образца, штриховая линия – удар с ненаклепанной стороны.

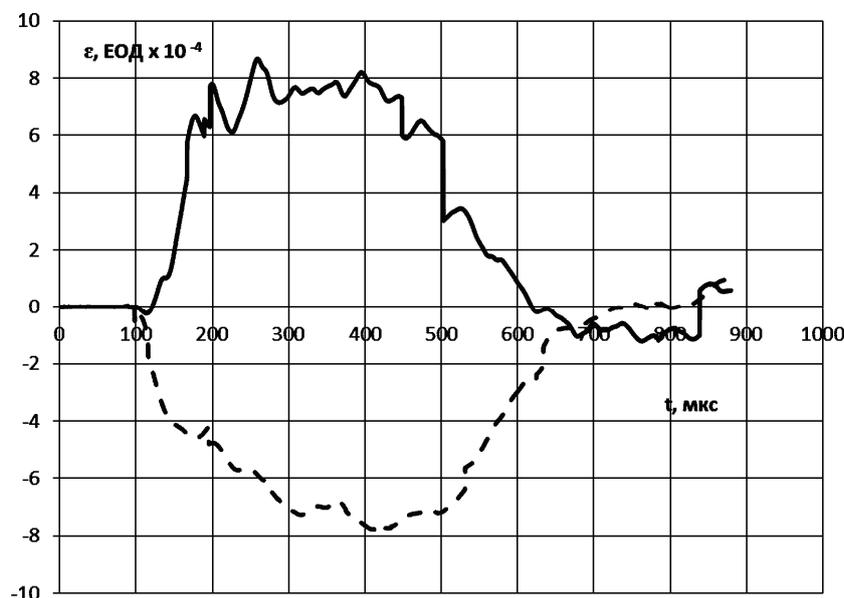


Рисунок 5 – Деформации образца при ударе

При ударе по ненаклепанной стороне максимальное значение деформации составляет $8,6765 \cdot 10^{-4}$ единиц относительной деформации (ЕОД). При ударе по наклепанной стороне максимальное значение $7,9139 \cdot 10^{-4}$ ЕОД. Таким образом, деформация упрочненной поверхности снижается на 10 % по сравнению с деформацией неупрочненной поверхности.

Таблица 1 – Результаты измерений высоты отскока шарика от ненаклепанной и наклепанной поверхностей

№ эксперимента	Ненаклепанная сторона		Наклепанная сторона	
	h , м	$E \cdot 10^{-3}$, кг м ² /с ²	h , м	$E \cdot 10^{-3}$, кг м ² /с ²
1	0,19	0,21	0,31	0,19
2	0,155	0,21	0,36	0,18
3	0,20	0,21	0,29	0,19
4	0,22	0,20	0,34	0,18
5	0,145	0,21	0,38	0,18
6	0,205	0,21	0,27	0,19
7	0,21	0,20	0,27	0,19

В табл. 1 приведены результаты измерений высоты отскока шарика от ненаклепанной и наклепанной поверхностей. Отскок шарика в среднем составил 0,189 и 0,317 м соответственно. Величина энергии, передаваемая ударником образцу при ударе по наклепанной стороне образца на 11 % ниже, чем при ударе по ненаклепанной стороне.

Сравнение результатов, полученных обоими использованными методами испытаний, показали хорошую корреляцию.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что испытанная термообработанная сталь 14X17H2 имеет ярко выраженную зависимость характера возникающих в результате ударного воздействия поверхностных волн деформации от структурного состояния поверхности. Дальнейшее развитие этого метода предполагает совершенствование приборной базы, которая позволит путем контрольных тензометрических измере-

ний определяют состояние поверхностного слоя металлического изделия, а, соответственно, и прочностные свойства всего изделия.

Список литературы: 1. Лукашевич А. О. Виявлення втомних тріщин докритичних розмірів в маловуглецевих сталях, елементах конструкцій транспортних машин / А. О. Лукашевич, В. А. Леонец, Л. М. Чаус // Міжнародний науково-технічний збірник «Надійність і довговічність машин і споруд». – 2015. – Вип. 40. – С. 144 – 157. 2. Яреценко В.Г. Использование тензометрии для оценки прочностных свойств элементов конструкций при динамических воздействиях / В. Г. Яреценко, К.В. Вакуленко // Тезисы докладов 5-ой международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее», (19-21 мая 2015 г.). – Днепропетровск, КБ «Южное», 2015. – С. 68. 3. Тензометрия в машиностроении / Под ред. Р.А. Макарова. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с. 4. Грановский В.А. Динамические измерения: основы метрологического обеспечения / В.А. Грановский. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с. 5. Карандеев К.Б. Мостовые методы измерений / К.Б. Карандеев. – К.: Гос. изд-во техн.

лит. Украинской СССР, 1953. – 246 с.

Bibliography (transliterated): 1. Lukashevych A. O., Leonets' V. A., Chaus L. M. Vyyavlennya vtomnykh trishchyn dokrytychnykh rozmiriv v malovuhletseyvnykh stalyakh, elementakh konstruktсий transportnykh mashyn. Mizhnarodnyy naukovotekhnichnyy zbirnyk «Nadiynist' i dovhovichnist' mashyn i sporud». 2015. Vol.40. 144–157. Print. 2. Jareshhenko V.G., Vakulenko K.V Ispol'zovanie tenzometrii dlja ocenki prochnostnykh svojstv jelementov konstrukcij pri dinamicheskikh vozdeystvijah. Tezisy dokladov 5-oj mezhdunarodnoj konferencii «Kosmicheskie tehnologii: nastojashhee i budushhee» (19-21 mai 2015). Dnepropetrovsk, KB «Juzhnoe», 2015. 68. Print. 3. Tenzometrija v mashinostroenii. Ed. R. A. Makarova. Moscow: Mashinostroenie, 1975. Print. 4. Granovskij V. A. Dinamicheskie izmerenija: osnovy metrologicheskogo obespechenija. Leningrad: Jenergoatomizdat, 1984. Print. 5. Karandeev K. B. Mostovye metody izmerenij. Kyiv: Gos. izd-vo tehn. lit. Ukrainskoj SSR, 1953. Print.

Поступила (received) 23.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вакуленко Карина Владимировна, Інститут проблем машиностроення ім. А.Н. Подгорного НАН України, відділ матеріалознавства, старший науковий співробітник, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, тел. +38(057) 349-47-80.

Vakulenko Karina Vladimirovna, Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Department of Materials Science, Senior Researcher, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, tel. +38(057) 349-47-80.

Казак Ірина Богдановна, Інститут проблем машиностроення ім. А.Н. Подгорного НАН України, відділ матеріалознавства, старший науковий співробітник, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, тел. +38(057) 349-47-80.

Kazak Irina Bogdanovna, Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Department of Materials Science, Senior Researcher, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, tel. +38(057) 349-47-80.

Сотрихін Сергій Юрьевич, Інститут проблем машиностроення ім. А.Н. Подгорного НАН України, відділ матеріалознавства, старший науковий співробітник, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, тел. +38(057) 349-47-94.

Sotrikhin Sergey Yurievich, Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Department of Materials Science, Senior Researcher, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, tel. +38(057) 349-47-94.

Яреценко Владимир Григорьевич, Інститут проблем машиностроення ім. А.Н. Подгорного НАН України, відділ матеріалознавства, старший науковий співробітник, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, тел. +38(057) 349-47-28.

Yareshchenko Vladimir Grigorievich, Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Department of Materials Science, Senior Researcher, e-mail: matsevlad@ipmach.kharkov.ua, tel. +38(057) 349-47-28.