

# ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА VT-20 МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ШИРОГРАФИИ И СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Л. М. ЛОБАНОВ, В. А. ПИВТОРАК

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Разработаны технологии неразрушающего контроля качества и определения остаточных напряжений сварных конструкций на основе методов цифровой ширографии и спекл-интерферометрии. Представлены результаты диагностирования качества сварных титановых панелей из сплава VT-20, изготовленных с предварительным упругим растяжением, и определения остаточных напряжений в элементах сварных панелей. Показана эффективность использования методов цифровой ширографии и спекл-интерферометрии для диагностики качества и определения остаточных напряжений в элементах титановых панелей без демонтажа оснастки для растяжения, что позволяет при необходимости сразу приступить к устранению дефектов. Библиогр. 10, рис. 11.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль качества, определение напряженного состояния, диагностика тонкостенных панелей, цифровая ширография, электронная спекл-интерферометрия

В современных отраслях промышленности (машино- и авиастроении, космической технике и др.) широкое применение находят высокопрочные металлы и сплавы. Повышение качества, надежности и работоспособности конструкций, изготовленных из таких материалов, неразрывно связано с созданием и развитием оперативных методов и средств неразрушающего контроля качества и определения напряженного состояния. Обычно эти конструкции работают в условиях сложного механического воздействия и температурных градиентов. Концентрация напряжений, возникающих в зоне дефектов сварных швов, понижает надежность и долговечность конструкций.

В настоящее время для выявления дефектов в материалах и конструкциях разработан ряд методов неразрушающего контроля таких, как рентгеновский, радиографический, ультразвуковой, механический и др. Следует отметить, что ни один из этих методов неразрушающего контроля не является универсальным. Каждый имеет преимущества и недостатки, свою область применения, которая определяется чувствительностью и точностью обнаружения дефектов.

Между тем инженерная практика ставит все новые задачи, направленные на повышение работоспособности и надежности конструкций. Для их решения необходимы новые методы неразрушающего контроля, позволяющие получать оперативную и более точную информацию об объекте контроля. К ним относятся методы лазерной интерферометрии – цифровая голография, электронная спекл-интерферометрия и ширография.

Цифровая ширография (ЦШ) является наиболее интенсивно развивающимся когерентным оптическим методом исследования конструкций, который осуществляется с помощью простых оптических устройств и позволяет бесконтактно исследовать поверхность объекта, не повреждая ее. Этот метод используется при исследовании различных материалов, конструкций и позволяет измерять деформацию объекта в условиях его нагружения. Этим обусловлена нечувствительность ЦШ к жестким смещениям объекта, вызванным влиянием окружающей среды, что определяет ее универсальность и эффективность применения в производстве [1–3]. Важным преимуществом ЦШ для неразрушающего контроля (НК) качества объектов является то, что в отличие от традиционных методов, которые только фиксируют наличие и отсутствие дефектов, она позволяет выявлять концентрацию напряжений, вызванную присутствием дефекта и конструктивными особенностями объекта.

При практическом применении цифровой ширографии для НК качества необходимо учитывать следующие допущения, которые вытекают из оптической схемы ширографического интерферометра:

- размеры исследуемых объектов или их участков должны быть существенно меньше, чем расстояние от источника лазерного света до поверхности контролируемого объекта;
- широмодуль располагается перпендикулярно к контролируемому участку поверхности объекта;
- направление освещения поверхности исследуемого объекта лазерным светом выбирается

по возможности ближе к нормали исследуемого участка поверхности объекта.

Технологию НК качества с использованием метода цифровой широкографии применяли для диагностики элементов и узлов конструкций, изготовленных из различных конструкционных материалов [4–8].

В настоящее время в авиационной и аэрокосмической промышленности все более широкое применение находят сварные тонкостенные панели с продольными ребрами жесткости, изготовленные из титановых сплавов. Контроль качества таких панелей достаточно трудоемкий и вызывает ряд сложностей. В связи с этим актуальным является разработка новых методов исследования их качества.

Метод ЦШ применяли для НК качества стрингерных панелей, выполненных из высокопрочного титанового сплава ВТ-20 размером  $1200 \times 550 \times 2,5$  мм (рис. 1). Четыре продольных ребра жесткости высотой 25 мм и толщиной 2,5 мм приваривали прорезными швами к титановому листу. Расстояние между ребрами составляло 100 мм. Сварку титановых панелей выполняли в условиях их предварительного упругого растяжения. При этом использовали аргонодуговую сварку неплавящимся электродом по слою активирующего флюса. После сварки титановая панель оставалась в оснастке в растянутом состоянии.

НК качества выполняли в следующей последовательности. Контролируемый участок сварного шва растянутой панели освещали лазерным светом и отраженная волна, характеризующая исходное состояние исследуемой поверхности, записывалась в память компьютера. После этого контролируемый участок обдували теплым воздухом температурой около  $50 \dots 70$  °С на протяжении  $25 \dots 40$  с, что вызывало его деформирование. Затем световую волну, отраженную от деформированного участка исследуемой поверхности, также записывали в память компьютера. С помощью специальной компьютерной программы записанную оптическую информацию обрабатывали до

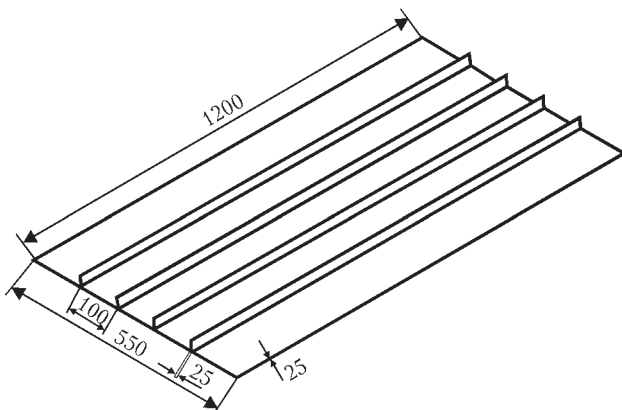


Рис. 1. Схема сварной панели, выполненной из титанового сплава ВТ-20

получения широкограммы, трехмерной картины деформирования исследуемой поверхности и кривых распределения производной  $\partial w/\partial x$  или  $\partial w/\partial y$  вдоль выбранных сечений.

Результат контроля сварной панели № 1 из сплава ВТ-20, выполненной автоматической аргонодуговой сваркой погруженной дугой, представлен на рис. 2 а. На широкограмме исследуемого участка сварного шва (рис. 2, б) на общем фоне деформирования видно локальное изменение картины интерференционных полос, что свидетельствует о наличии внутренних дефектов. Построенная трехмерная картина деформирования (рис. 2, в) и кривые распределения производной  $\partial w/\partial x$  вдоль выбранных сечений дефектного А-А и бездефектного Б-Б (рис. 2, г) подтверждают наличие дефектов на исследуемом участке (показаны стрелкой).

Проведенный рентгеновский контроль качества рассматриваемого участка сварного шва титановой панели из сплава ВТ-20 показал наличие скопления пор размером  $0,2 \dots 0,4$  мм.

При исследовании сварной титановой панели № 2 обнаружен участок прерывания дуги, на котором возникает концентрация деформаций в месте остановки сварки (рис. 3, б). Ширографический контроль качества выполняли с использованием параметров нагрева, аналогичных описанным выше.

Результаты дальнейшей обработки интерференционных полос до получения трехмерной картины деформирования (рис. 3, в) и построения кривых распределения производных  $\partial w/\partial x$  вдоль исследуемых сечений А-А и Б-Б, соответственно, дефектного и бездефектного участков шва (рис. 3, г), подтвердили наличие локального скачка производной  $\partial w/\partial x$  на участке прерывания дуги при сварке панели.

На рис. 4, б–г показаны, соответственно, картина интерференционных полос, трехмерная картина деформирования контролируемого участка шва сварной титановой панели № 3, выполненной автоматической аргонодуговой сваркой погруженной дугой, и распределение производных  $\partial w/\partial x$  вдоль исследуемых сечений А-А и Б-Б на участке сварного шва после его ремонта с применением ручной дуговой сварки. Наглядно видно, что после ремонта дефектного участка шва наблюдается резкое локальное изменение производной  $\partial w/\partial x$ , что характеризует концентрацию деформаций в восстановленном с помощью ремонта участке шва.

Проведенная серия экспериментов по бесконтактному НК качества сварных титановых панелей с ребрами жесткости, изготовленных из сплава ВТ-20 и выполненных в условиях их предварительного упругого растяжения, показала, что метод цифровой широкографии позволяет оперативно исследовать качество сварных панелей и опре-

делять дефектные участки сварных швов. Особенно важным является то, что метод позволяет без демонтажа оснастки для растяжения титановой панели выявлять дефектные зоны и в случае необходимости сразу приступить к их устранению.

При сварке титановых панелей следует также учитывать, что прерывание сварочной дуги при выполнении шва и ручная ремонтная сварка участков шва вызывают локальную концентрацию деформаций, которая при воздействии эксплуатационных нагрузений может привести к снижению ресурса работы панелей.

Весомыми факторами, снижающими работоспособность и ресурс эксплуатации титановых панелей, являются остаточные сварочные напряжения и деформации. В связи с этим важным является создание и совершенствование методов и средств снижения напряжений и деформаций. Для тонкостенных панелей, содержащих длинные прямолинейные сварные швы, наиболее эф-

фективным методом снижения остаточного напряженно-деформированного состояния является их упругое предварительное деформирование.

Суть метода предварительного упругого деформирования заключается в том, что в свариваемых элементах создаются растягивающие напряжения, которые в процессе сварки взаимодействуют со сварочными напряжениями, значительно снижая их остаточную величину.

Метод получил развитие и используется в институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины при сварке различных высокоточных листовых конструкций из стали, а также сплавов титана и алюминия [9]. При использовании оптимальных параметров предварительного упругого растяжения исследуемых конструкций достигаются минимальные значения остаточных напряжений и деформаций коробления. Метод реализуется с помощью специализированной сборочно-сварочной оснастки и не оказывает како-

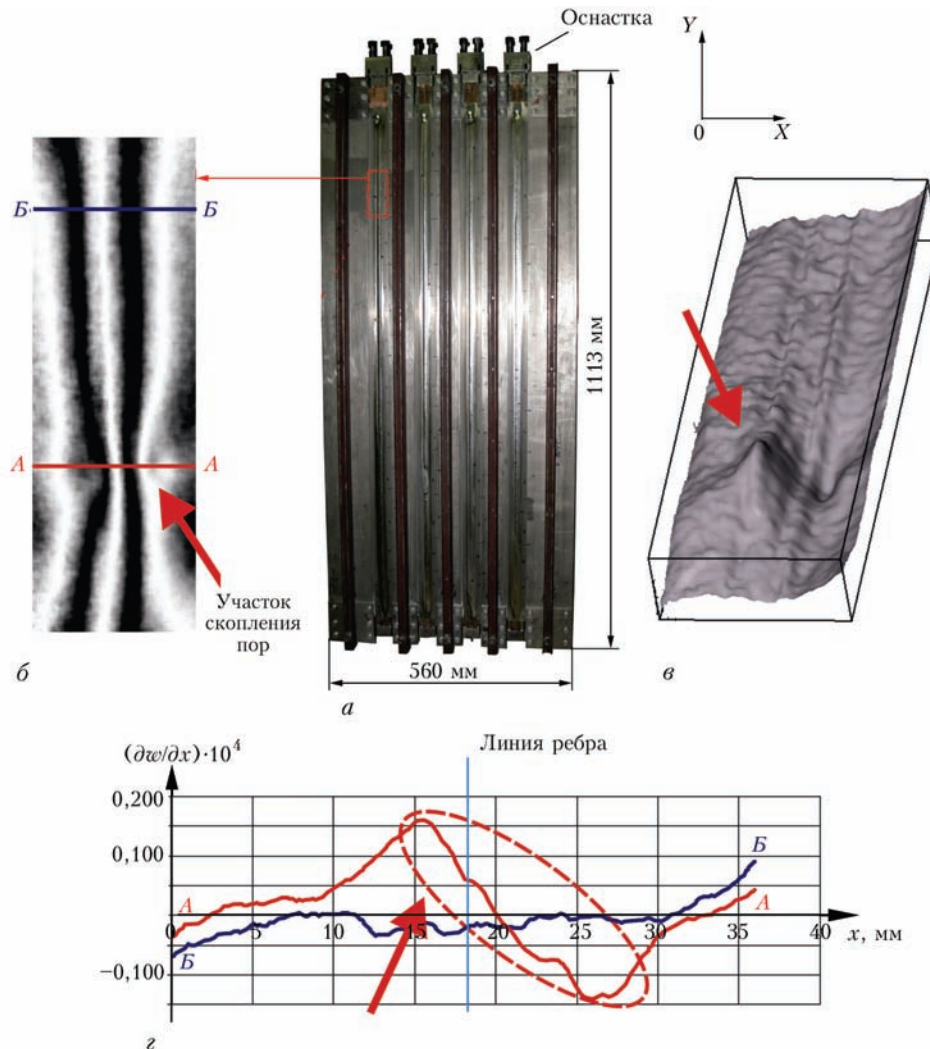


Рис. 2. Неразрушающий контроль качества сварной титановой панели № 1 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях предварительного упругого растяжения: а – панель в силовой механической оснастке после сварки; б – широкоугольная фотография с нанесенными исследуемыми сечениями контролируемого участка шва панели, который нагружался обдувом тепловым воздухом ( $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ); в – 3-D изображение распределения производной  $dw/dx$  на исследуемом участке; г – распределение производной  $dw/dx$  вдоль сечений А-А и Б-Б, которые проходят по дефектному и бездефектному участку, соответственно

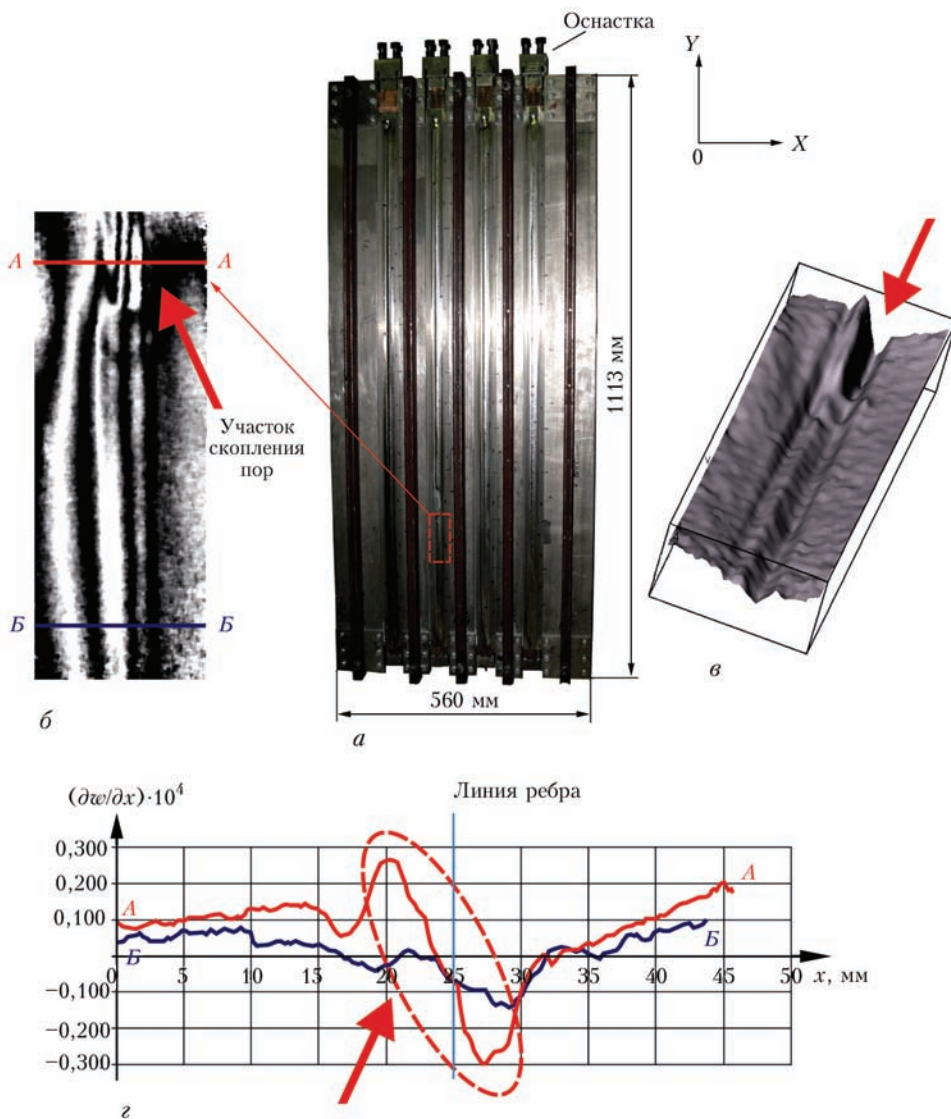


Рис. 3. Неразрушающий контроль качества сварной титановой панели № 2 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях предварительного упругого растяжения (описание а-г – то же, что и на рис. 2)

го-либо отрицательного воздействия на свойства сварного соединения.

Для исследования влияния предварительного упругого растяжения свариваемых элементов на остаточные напряжения были проведены эксперименты при сварке тавровых образцов длиной 480 мм и шириной 100 мм с одним ребром жесткости высотой 25 мм (рис. 5), толщина листа и ребра – 2,5 мм. Остаточные напряжения в тавровых образцах определялись методом электронной спекл-интерферометрии в сочетании с методом отверстий.

Компактный спекл-интерферометрический прибор для определения остаточных напряжений, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, приведен на рис. 6.

После измерения методом спекл-интерферометрии перемещений, возникающих в области упругой разгрузки напряжений с помощью высверленного отверстия, вычисляются остаточные

напряжения с использованием зависимостей, полученных в результате моделирования напряженно – деформированного состояния методом конечных элементов.

Определение [10] остаточных напряжений методом спекл-интерферометрии выполняется в следующей последовательности: спекл-интерферометрический прибор устанавливается на исследуемый сварной элемент – на участок, в котором необходимо определить остаточные напряжения. Контролируемая зона освещается лазерным светом и отраженная световая волна, характеризующая исходное состояние контролируемого участка, с помощью CCD – камеры вводится в память компьютера. После упругой разгрузки напряжений, вызванной сверлением несквозного отверстия с заданным диаметром и глубиной, отраженная световая волна аналогично исходной также вводится в память компьютера. После компьютерной обработки двух световых волн, полученных

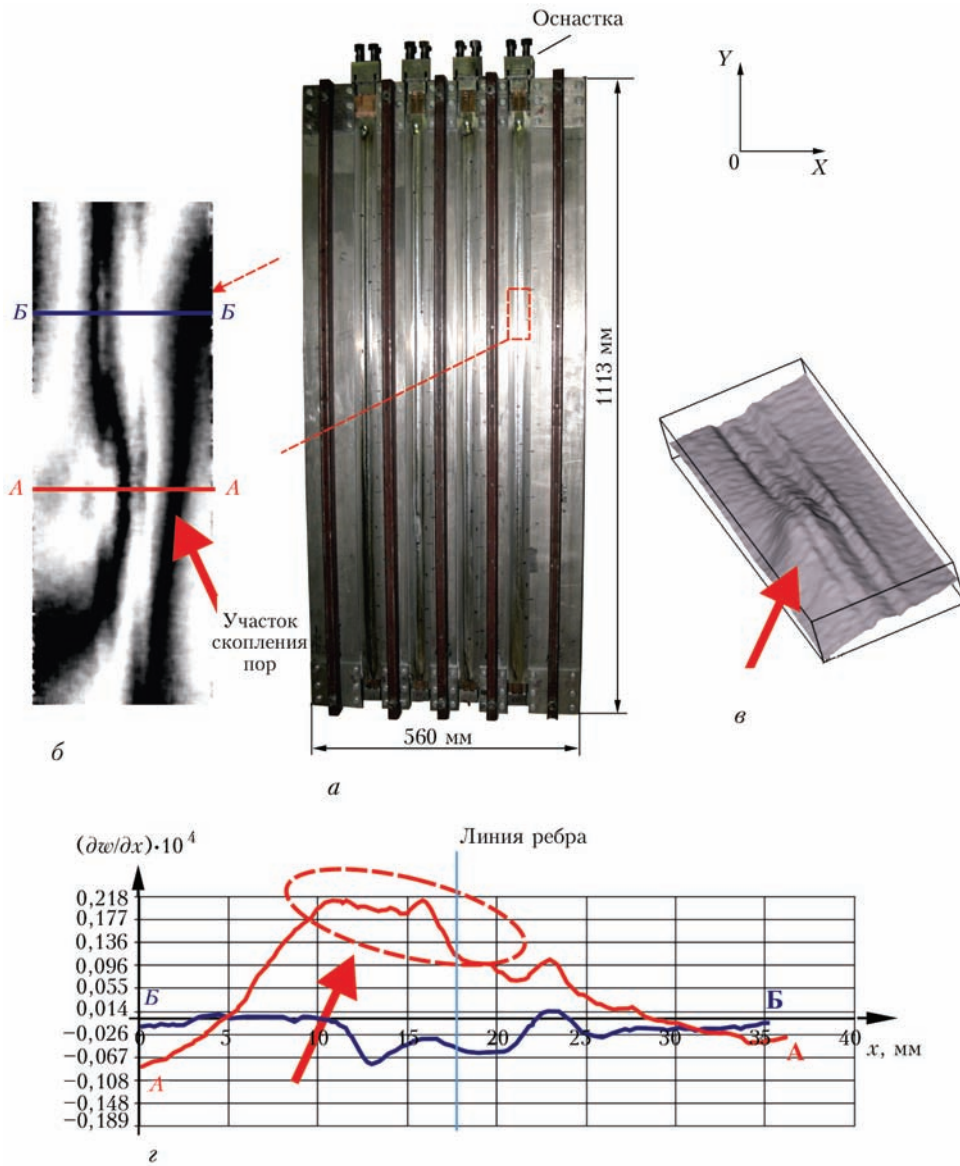


Рис. 4. Неразрушающий контроль качества сварной титановой панели № 3 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях предварительного упругого растяжения: описание а-г – то же, что и на рис. 2

до и после локальной упругой разгрузки остаточных напряжений с помощью сверления небольшого несквозного отверстия, на мониторе наблюдается интерференционная картина полос в области отверстия, которая содержит информацию о величине остаточных напряжений в контролируемой точке исследуемого участка объекта (рис. 7).

Исследования выполнялись по следующей схеме. Вначале сваривались тавровые образцы на одних и тех же режимах и с применением одной и той же сборочно-сварочной оснастки без предварительного упругого растяжения. На рис. 8 приведены кривые распределения продольных остаточных напряжений  $\sigma_x$  и поперечных  $\sigma_y$  в сварных тавровых соединениях, изготовленных из титанового сплава ВТ-20 без применения предварительного упругого растяжения свариваемых элементов. Видно, что в исследуемом сечении А-А, которое проходит через середину таврового образ-

ца перпендикулярно оси шва, в центре сварного шва формируются остаточные напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  величиной примерно 400 и 100 МПа, соответственно. При этом максимального значения (около 550 МПа) остаточные продольные напряжения  $\sigma_x$  достигают на расстоянии примерно 6 мм от оси шва (ширина шва около 10 мм).

При сварке тавровых образцов с предварительным растяжением величиной  $0,22\sigma_{0,2}$

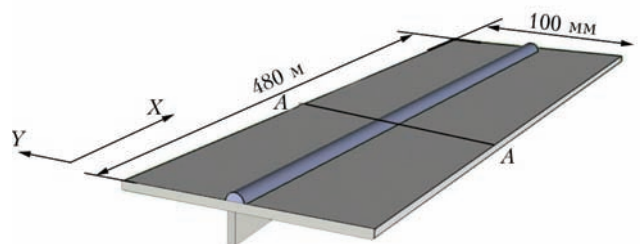


Рис. 5. Схема сварного таврового соединения из титанового сплава ВТ-20

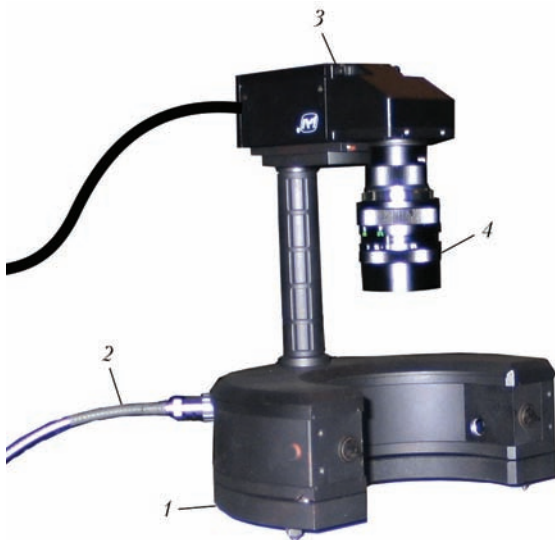


Рис. 6. Компактный спекл-интерферометрический прибор: 1 – спекл-интерферометр; 2 – световод; 3 – CCD – камера; 4 – объектив

( $\sigma_{0,2} = 950$  МПа – предел текучести сплава ВТ-20) (рис.9) остаточные продольные напряжения  $\sigma_x$  в поперечном сечении в центре шва снижаются до величины примерно 150 МПа, что в 2,6 раза меньше, чем в сварном тавровом соединении, выполненном без предварительного упругого растяжения (рис. 8). Напряжения  $\sigma_y$  достигают величины около 60 МПа (рис. 9).

Максимальные продольные остаточные напряжения  $\sigma_x$  величиной примерно 260 МПа достигаются на расстоянии около 6 мм от оси шва, что в 2,1 раза меньше, чем в сварном соединении, выполненном без предварительного упругого растяжения.

После сварки тавровых образцов с предварительным упругим растяжением величиной  $0,36 \sigma_{0,2}$  (рис. 10) остаточные напряжения в поперечном сечении в центре шва уменьшаются до величины примерно 98 МПа, что в 4 раза меньше в сравнении с тавровым соединением, выполненным без предварительного упругого растяжения. Остаточные напряжения в этом случае достигают на расстоянии, близком к 6 мм, максимального значения примерно 145 МПа, что в 3,8 раза ниже, чем в образце, выполненном без предварительного упругого растяжения.

Сварка тавровых образцов с предварительным упругим растяжением величиной  $0,46 \sigma_{0,2}$  (рис. 11)

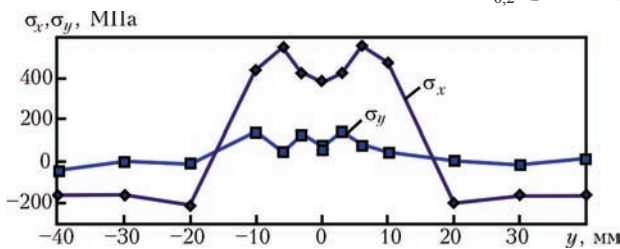


Рис. 8. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в поперечном сечении листа (полки) сварного таврового соединения (сварка без предварительного упругого растяжения  $\sigma_{\text{упр}} = 0$ )

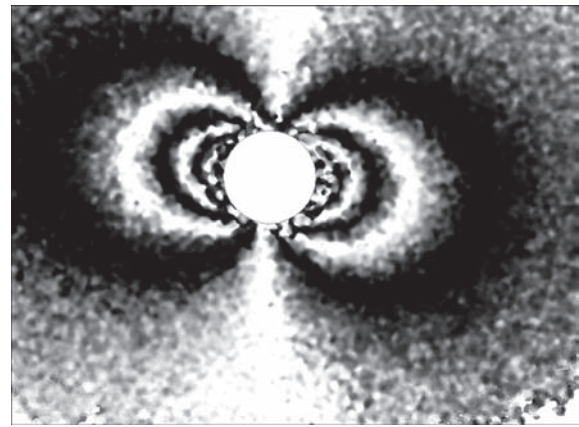


Рис. 7. Типичная интерференционная картина полос вокруг высверленного несквозного отверстия после упругой релаксации остаточных напряжений

приводит в центре шва практически к нулевым продольным и поперечным остаточным напряжениям  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  (примерно 25 МПа) в центральном сечении А-А, которое проходит перпендикулярно сварному шву.

Выполненные эксперименты с использованием сварных тавровых соединений позволяют оценить влияние величин предварительного упругого деформирования свариваемых элементов на уровень остаточных напряжений, вызванных процессом сварки. Анализ полученных результатов показал, что использование предварительного упругого растяжения свариваемых элементов на величину  $0,22 \sigma_{0,2}$  позволяет снизить продольные и поперечные остаточные напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  более, чем в 2 раза. Дальнейшее увеличение величины предварительного упругого растяжения свариваемых элементов существенно снижает продольные и поперечные остаточные напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  и при величине растяжения около  $0,46 \sigma_{0,2}$  остаточные продольные и поперечные напряжения близки к нулевым.

При этом следует учитывать, что при таких уровнях предварительного упругого растяжения свариваемых элементов сборочно-сварочная оснастка должна иметь достаточно большую жесткость и обеспечивать возможность создания значительных усилий при растяжении свариваемых элементов.

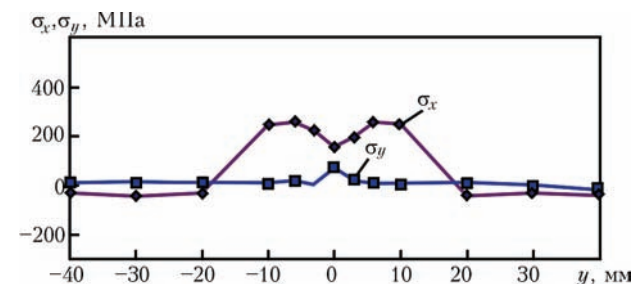


Рис. 9. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в поперечном сечении листа (полки) сварного таврового соединения, выполненного в условиях предварительного упругого растяжения ( $\sigma_{\text{упр}} = 0,22 \sigma_{0,2}$ )

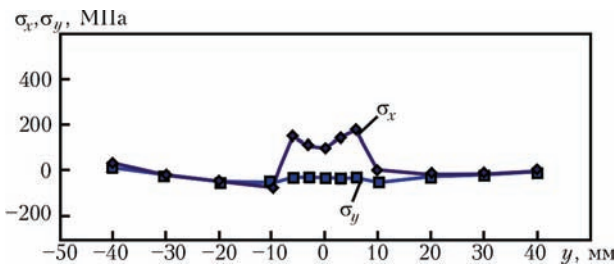


Рис. 10. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в поперечном сечении листа (полки) сварного таврового соединения, выполненного в условиях предварительного упругого растяжения ( $\sigma_{\text{нуп}} = 0,36 \sigma_{0,2}$ )

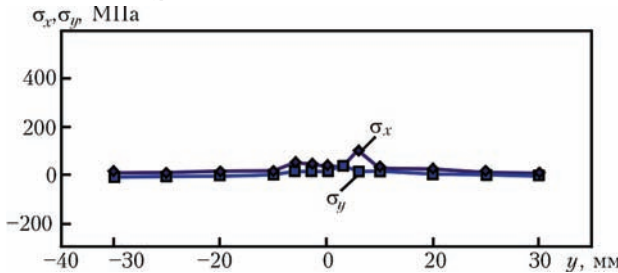


Рис. 11. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в поперечном сечении листа (полки) сварного таврового соединения, выполненного в условиях предварительного упругого растяжения ( $\sigma_{\text{нуп}} = 0,46 \sigma_{0,2}$ )

Таким образом, оценка результатов исследования влияния на остаточные напряжения предварительного упругого растяжения свариваемых элементов тавровых соединений, выполненных из высокопрочного титанового сплава ВТ-20, показала высокую эффективность применения предварительного упругого растяжения для снижения остаточных сварочных напряжений в тавровых соединениях.

Применение электронной спекл-интерферометрии в сочетании с методом отверстий, позволило оперативно и с высокой точностью определить остаточные напряжения в сварных тавровых соединениях из титана толщиной 2,5 мм и оптимизировать технологию их сварки в условиях предварительного растяжения.

**Список литературы**

1. Hung Y. Y., Ho H. P. (2005) Shearography: An optical measurement technique and applications. *Materials Science and Engineering*, **49**, 61–87.
2. Collrep J., Krupka R., Siebert T. (2007) Industrial applications of shearography for inspection of aircraft components. *NDT World Review*, **36**, 6, 28–31.
3. Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Савицкая Е. М., Киянец И. В. (2008) Диагностика элементов и узлов конструкций с применением метода электронной ширографии. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 7–13.
4. Feng H. J., Zhang J., Liu X. K. (2012) Studies on digital shearography for testing of aircraft composite structures and honeycomb-based specimen. *Appl. Mech. Mater.*, **121-126**, 1264–1268.
5. Wu S. J., Zhu L. Q., Feng Q. B. et al. (2012) Digital shearography with in situ phase shift calibration. *Opt. Lasers Eng.*, **50**, 1260–1266.
6. Xie X., Xu N., Sun J. F. et al. (2013) Simultaneous measurement of deformation and the first derivative with spatial phase-shift digital shearography. *Opt. Commun.*, **286**, 277–281.
7. Лобанов Л. М., Знова В. Я., Пивторак В. А. Киянец И. В. (2014) Технология неразрушающего контроля качества элементов и узлов авиационных конструкций методом

электронной ширографии. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **3**, 15–18.

8. Лобанов Л. М., Знова В. Я., Пивторак В. А. Киянец И. В. (2015) Контроль коррозионных повреждений элементов и узлов авиационных конструкций методом электронной ширографии. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 5–9.
9. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Лысак В. В., Кныш В. В. и др. (2014) Бездеформационная сварка стрингерных панелей из титанового сплава ВТ20. *Автоматическая сварка*, **9**, 7–9.
10. Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Савицкий В. В., Ткачук Г. И. (2006) Методика определения остаточных напряжений в сварных соединениях и элементах конструкций с использованием электронной спекл-интерферометрии. *Автоматическая сварка*, **1**, 10–13.

**References**

1. Hung, Y.Y., Ho, H.P. (2005) Shearography: An optical measurement technique and applications. *Mater. Sci. & Engin.*, **49**, 61-87.
2. Collrep, J., Krupka, R., Siebert, T. (2007) Industrial applications of shearography for inspection of aircraft components. *NDT World Review*, **36**(6), 28-31.
3. Lobanov, L.M., Pivtorak, V.A., Savitskaya, E.M., Kiyaneets, I.V. (2008) Diagnostics of components and assemblies of structure with application of electron shearography method. *Tekh. Diagnost. i Nerazruch. Kontrol*, **4**, 7-13 [in Russian].
4. Feng, H.J., Zhang, J., Liu, Kh.K. (2012) Studies on digital shearography for testing of aircraft composite structures and honeycomb-based specimen. *Appl. Mech. Mater.*, **121-126**, 1264-1268.
5. Wu, S.J., Zhu, L.Q., Feng, Q.B. et al. (2012) Digital shearography with in situ phase shift calibration. *Opt. Laser Eng.*, **50**, 1260-1266.
6. Xie, X., Xu, N., Sun, J.F. et al. (2013) Simultaneous measurement of deformation and the first derivative with spatial phase-shift digital shearography. *Opt. Commun.*, **286**, 277-281.
7. Lobanov, L.M., Znova, V.Ya., Pivtorak, V.A., Kiyaneets, I.V. (2014) Technology of non-destructive testing of the quality of elements and components of aircraft structures by electron shearography method. *Tekh. Diagnost. i Nerazruch. Kontrol*, **3**, 15-18 [in Russian].
8. Lobanov, L.M., Znova, V.Ya., Pivtorak, V.A., Kiyaneets, I.V. (2015) Monitoring corrosion damage of elements and components of aircraft structures by the method of electron shearography. *Ibid.*, **2**, 5-9 [in Russian].
9. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Lysak, V.L. et al. (2014) Deformation-free welding of stringer panels of titanium alloy VT20. *The Paton Welding J.*, **9**, 6-16.
10. Lobanov, L.M., Pivtorak, V.A., Savitsky V.V., Tkachukm G.I. (2006) Procedure for determination of residual stresses in welded joints and structural elements using electron speckle-interferometry. *Ibid.*, **1**, 24-29.

Л. М. ЛОБАНОВ, В. А. ПИВТОРАК

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

**ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ І НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЗВАРНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗІ СПЛАВУ ВТ-20 МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЇ ШИРОГРАФІЇ І СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ**

Розроблено технології неруйнівного контролю якості та визначення залишкових напружень зварних конструкцій на основі методів цифрової ширографії і спекл-інтерферометрії. Представлені результати діагностування якості зварних титанових панелей зі сплаву ВТ-20, виготовлених з попереднім пружним розтягуванням, і визначення залишкових напружень в елементах зварних панелей. Показана ефективність використання методів цифрової ширографії і спекл-інтерферометрії для діагностики якості та визначення залишкових напружень

в элементах титановых панелей без демонтажу оснащения для розтягування, що дозволяє при необхідності відразу приступити до усунення дефектів. Бібліогр. 10, рис. 11.

Ключові слова: неруйнівний контроль якості, визначення напруженого стану, діагностика тонкостінних панелей, цифрова ширографія, електронна спекл-інтерферометрія

L. M. LOBANOV, V. A. PIVTORAK

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich str., 03150, Kiev.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

OPERATIONAL CONTROL OF THE QUALITY AND STRESSED STATE OF WELDED PANELS FROM VT-20 ALLOY BY DIGITAL SHEAROGRAPHY METHODS

Technologies of nondestructive testing of the quality and determination of residual stresses in welded structures based on the methods of digital shearography and speckle-interferometry were developed. The paper presents the results of diagnostics of the quality of welded titanium panels from VT-20 alloy, made with elastic pre-tension and determination of residual stresses in welded panel elements. The effectiveness of application of the methods of digital shearography and speckle-interferometry is shown for diagnostics of quality and determination of residual stresses in titanium panel elements without dismantling the fixtures for tension application that allows, if required, immediately proceeding to elimination of the defects.

Keywords: nondestructive quality testing, stressed state determination, diagnostics of thin-walled panels, digital shearography, electronic speckle-interferometry.

Поступила в редакцію  
04.05.2018



## VIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «МЕТАЛЛ. ОБОРУДОВАНИЕ. ИНСТРУМЕНТ»

25–27 апреля во Дворце спорта «Украина» (г. Львов) прошла VIII специализированная выставка «Металл. Оборудование. Инструмент». Выставка была организована компанией ТОВ «ЕхпоЛьвів». Информационную поддержку выставки обеспечили журналы «Автоматическая сварка», «Оборудование и инструмент для профессионалов», «Металл дайджест» и другие.

**Тематика выставки включала следующие темы:**

- оборудование для обработки металлов
- металлорежущие станки и приспособления
- плазменное оборудование и технологии
- оборудование для раскроя листа и проката
- металлорежущие инструменты
- сварочное оборудование
- кузнечное оборудование и изделия
- ручной электроинструмент
- абразивный, алмазный, прецизионный инструмент
- пневматический и гидравлический инструмент
- слесарный и монтажный инструмент
- металлоизделия, изделия для соединения и крепежа
- средства защиты

В выставке приняли участие свыше 50 компаний, представляющих производство, торговлю, а также дистрибьютеры из разных областей Украины.

Среди участников такие известные компании как «Fronius Ukraine», «Бинцель Украина», ООО «Дельта – Современные технологии», «Саммит», «Техмаш» и другие.



Программа выставки включала проведение ряда тематических семинаров, презентаций, которые позволили обеспечить уникальную возможность специалистам повысить уровень профессиональных знаний и обменяться опытом при личном общении.

Выставка «Металл. Оборудование. Инструмент» стала местом встречи ведущих специалистов в области машиностроения, металлообработки и других отраслей промышленности и послужила мощным информационным источником.