

випробування в зубчастих передачах редукторів турбовентиляторних двигунів АИ-20, АИ-24, головному редукторі Р-26 вертольоту та ін.

Дослідження показали [1], що модифіковане зачеплення, утворене вихідним початковим контуром, окресленим дугою кола на голівці або по всьому профілю, є більш раціональним, тому що дозволяє повністю виключити удари під час переспряжень зубців піднавантаженням і суттєво зменшити циклічну погрішність при належному виборі величини модифікації.

#### Список літератури

1. Авиационные зубчатые передачи и редукторы : справочник / Под ред. Э.Б. Вулгакова. М.: Машиностроение. 1982. 375 с.
2. ГОСТ 13755-2015. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходные контуры (ISO 53:1998, Cylindricalgearsforgeneralandheavyengineering – Standardbasicracktoothprofile, MOD). М.: Стандартинформ. 2016.
3. Вулгаков Э.Б., Ананьев В.М., Голованов В.В. Вибраактивность зубчатых передач с коэффициентом перекрытия больше двух. *Вестник машиностроения*, 1974, № 6, С. 26–31.

**УДК 621.7.044**

**Савченко Ю. В., к.т.н., доцент**

**Дніпропетровський державний університет внутрішніх дел, г. Дніпро,  
Україна**

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Машиностроение, авиация, судостроение и целый ряд других отраслей промышленности используют большое количество изделий труб самого разнообразного сортамента.

Биметаллические изделия-трубы обладают специальными физико-химическими свойствами, которые нельзя получить в однослойных изделиях, их удается достигнуть только в специальных композициях. В промышленности существует несколько способов получения биметаллических труб, основанных на совместном пластическом деформировании свариваемых металлов при высоких температурах: прессование, деформация на прошивных и волочильных станах, термодиффузационная сварка, центробежная отливка и ряд других. Каждый способ имеет свои недостатки, преимущества и границы использования.

Принципиальным недостатком существующих способов является то, что процесс схватывания металлов протекает при высоких температурах, значительных выдержках, вследствие чего происходит диффузионное перераспределение элементов между свариваемыми металлами на значительные расстояния от контактных поверхностей. Вышеуказанные

недостатки явились предпосылкой для изыскания новых способов изготовления биметаллических труб[1].

Одним из новых технологических процессов для создания композиционных материалов является способ сварки взрывом, основанный на косом высокоскоростном соударении контактных поверхностей металлов [2–4]. При этом способе можно изготавливать биметаллические листы, трубы из металлов различных сочетаний, которые практически нельзя получить существующими способами сварки. Этот способ открывает возможность использовать для нужд производства новый вид энергии - энергию взрыва, применение которой позволит сэкономить традиционные энергетические ресурсы.

Необходимость удовлетворения жестких требований, предъявляемых к структуре и свойствам биметаллических труб, обусловили проведение исследований по выбору оптимальных параметров сварки труб взрывом. Исследования проводили на сочетании металлов коррозионностойкая сталь марки Х18Н10Т+ медь марки МЗР. Проведенными исследованиями было установлено, что оптимальными параметрами сварки взрывом, обеспечивающими хорошую свариваемость металлов, являются: скорость точки контакта  $v_k = 2,45$  км/с, скорость соударения  $v_c = 0,26$  км/с, угол соударения  $\gamma = 6^\circ$ .

В зависимости от параметров сварки наблюдаются разная степень и глубина упрочнения, а также различный вид и структура границы сварки при удовлетворительной прочности сцепления слоев. Исследование влияния условий холодной деформации на структуру и свойства биметаллических заготовок проводили на биметаллических трубных заготовках размером 78,5x9,25 мм, имеющих разную структуру границы сварки, степень и глубину упрочнения. Основной (наружный) слой заготовок был изготовлен из коррозионностойкой стали Х18Н10Т, а внутренний - из меди марки МЗР, оба слоя отожжены перед взрывом по оптимальным режимам.

Холодную прокатку биметаллических трубных заготовок вели в двух состояниях: непосредственно после сварки взрывом и после отжига 900 °C в течение 30 мин (с нагревом и охлаждением в аргоне).

Прокатку осуществляли на стане ХПТ-75 при комнатной температуре. Степень деформации оценивали по формуле

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\Delta_t D_t}{\Delta_z D_z}\right) \cdot 100,$$

где  $\varepsilon$  – степень деформации;  $\Delta_z$  – толщина стенки биметаллической заготовки;  $\Delta_t$  – толщина стенки биметаллической трубы;  $D_t$  – средний диаметр биметаллической трубы;  $D_z$  – средний диаметр биметаллической заготовки.

Холодная пластическая деформация, как показали исследования, вносит существенные изменения в вид и структуру границы сварки. Независимо от исходного состояния граница сварки из волнообразной становится прямолинейной. После деформации на 36 % на гребнях волн образуются прямолинейные участки, однако волны полностью не исчезают. Участки литой

структуры, образовавшиеся в процессе сварки взрывом, при деформации на 36% своих размеров практически не изменяют. Деформация на 72% способствует полному выравниванию волн, участки литой структуры деформируются (вытягиваются вдоль границы соединения, при этом значительно утоняются или полностью раскатываются).

Детальные металлографические исследования показали, что в биметаллических трубных заготовках, полученных по разным режимам сварки, но с прочностью сцепления слоев, превышающей прочность менее прочного металла, как отожженных после взрыва, так и деформированных без отжига, сварное соединение не разрушается при достижении деформации 72%. Граница сварки - чистая, плотная, без нарушения сплошности сцепления. Не обнаружены также разрушения в слоях металлов, прилегающих к границе соединения, несмотря на значительный их наклеп после сварки без формоизменения зерна, хотя в процессе холодной пластической деформации в этих местах происходят существенные структурные изменения, особенно в металле основного слоя, заключающиеся в формоизменении зерна: зерна вытягиваются в направлении деформации. Вытянутые зерна наблюдаются как в слоях, прилегающих к границе соединения, так и в остальных местах по сечению стенки.

Характерной особенностью структуры слоя из стали Х18Н10Т биметаллических труб стала Х18Н10Т – медь МЗР, деформированных без отжига после взрыва, является повышенная травимость у контактной поверхности и на некотором расстоянии от нее. В этих местах наиболее четко проявляются полосы скольжения, что, вероятно, обусловлено декорированием их мартенситом деформации. Любопытно, что несмотря на интенсивное образование мартенсита в процессе холодной пластической деформации и значительного содержания его в отдельных слоях (до 80 %) стали Х18Н10Т разрушений в этих местах при деформации не обнаружено. Мартенситное превращение можно рассматривать как один из механизмов релаксации напряжений при деформации [5–6].

Следует обратить внимание на неоднородность структуры стали Х18Н10Т по сечению стенки в биметаллических трубах, деформированных без отжига после взрыва. В то время как у контактной поверхности наблюдается повышенная плотность следов скольжения в средних слоях по сечению стенки, после деформации на 36 % были фиксированы пересекающиеся полосы скольжения в одних зернах при полном отсутствии их в других. С увеличением степени деформации до 72 % структурная неоднородность значительно уменьшалась. Структурные изменения обусловливают изменение механических свойств в процессе холодной деформации. Из этого следует, что независимо от исходного состояния после холодной пластической деформации прочностные свойства (временное сопротивление разрыву, предел текучести) возрастают, а относительное удлинение и относительное сужение уменьшаются. Причем эти изменения особенно заметны после деформации на 72 %.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить: биметаллические трубы сочетания стали Х18Н10Т- медь МЗР, полученные в широком интервале параметров сварки, обладают необходимым

запасом пластичности, позволяющим деформировать их без отжига после взрыва на величину до 72 %. Пластическая деформация до 72 %, а также последующий отжиг при температуре 900-950 °C с выдержкой 30 мин способствуют выравниванию микротвердости и микроструктуры по сечению стенки труб.

**Список литературы**

1. Iu. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing. *Mining of Mineral Deposits*. Vol. 10 (2016), Issue 4, P. 105–110.
2. Оклей Л.Н. и др. Структура металлов при воздействии высоких давлений, М., 1989. 84 с.
3. Родькин Д. Й., Киба С. П., Кицель Н. В. Опыт реорганизации кафедры электромеханического профиля. *Вестник ХПИ*, 2002, С. 331–334.
4. Кицель Н. В., Бялобрежский А. В., Кривонос С. А., Ломонос А. И., Артеменко А. Н., Калашник С. С. Оценка возможностей и объема учебно-методического обеспечения компьютеризированных измерительных диагностических комплексов. *Вестник КГПУ*. Выпуск 1/2003(18), 2003, С. 147–152.
5. Киба С. П., Кіцель Н. В., Некрасов А. В. Методологічні аспекти та перспективи підготовки науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації на факультеті. *Вісник КДПУ*. Випуск 2/2003(19), 2003, С. 14–19.
6. Кіцель Н. В., Бялобрежський О. В., Величко Т. В. Методика проведення лабораторних робіт з використанням комп’ютеризованих вимірювально-діагностичних комплексів. *Вісник КДПУ*. Випуск 2/2003(19), 2003, С. 20–22.

**UDC 621,480.02**

*Salenko A.F., D.Sc. (Eng.), Professor*

*Kyiv Ihor Sykorskyi Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine*

*Yelizarov M.A., Ph.D.(Eng.), Chencheva O.A., Ph.D.(Eng.), Lashko E.E., Ph.D.(Eng.),*

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk city, Ukraine*

*Petchenko M.V., Ph.D.(Econ).*

*Kremenchuk College of Aviation of Kharkiv National University of Internal Affairs, Kremenchuk city, Ukraine*

**THE APPLICATION OF THE CHEMOGRAPHY METHOD  
FOR CONSTRUCTING FIELDS OF GAS EMISSION FROM SPACE  
VEHICLE SURFACE**

The topicality of the research related to the study of gas emission consists in the fact that gas emission and subsequent condensation occur unevenly, are determined by the presence of particular material on the surface of the spacecraft, and by the effect of space factors.