



**МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ**  
**Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз**



**СУДОВА ЕКСПЕРТИЗА:  
ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ ТА  
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ**

**2020**

**МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ**

Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз

**СУДОВА ЕКСПЕРТИЗА: ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ ТА  
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ**

Forensic Expertise: Contemporary Problems and Development Prospects

Судебная экспертиза: проблемы и перспективы развития

Львів 2020

УДК 343.98 (082)

С 892

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз  
(Протокол № 1 від 21.01.2020)*

Рецензенти:

**Приймаченко Д.В.** – доктор юридичних наук, професор, проректор з наукової роботи Університету митної справи та фінансів.

**Мельніков О.В.** – доктор економічних наук, провідний спеціаліст ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Графітех».

**Заблудовський В.О.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**Редакційна колегія:** Ястреб І.С. (директор ЛНДІСЕ), Соколов П.Г. (помічник директора ЛНДІСЕ), Гординська Н.В. (вчений секретар ЛНДІСЕ), Грицишин П.М. (к.т.н., провідний науковий співробітник), Кузін М.О. (д.т.н., провідний науковий співробітник), Ковальчук О.Б. (старший науковий співробітник), Батіг А.В. (старший науковий співробітник), Дем'янчук Р.М. (завідувач лабораторії дослідження матеріалів речовин та виробів), Джус В.В. (завідувач лабораторії залізнично-транспортних досліджень), Придиба В.Т. (к.т.н., завідувач лабораторії автотехнічних досліджень), Струк І.О. (завідувач лабораторії дослідження об'єктів інформаційних технологій та інтелектуальної власності), Калініченко М.М. (к.ф.н., провідний науковий співробітник), Савчук О.Ю. (старший науковий співробітник), Сенік Н.В. (завідувач лабораторії будівельно- та земельно-технічних досліджень), Буриліна Н.П. (інженер), Афанасьєв С.А. (старший науковий співробітник), Сенейко І.Б. (старший науковий співробітник), Макарчук В.Г. (к.т.н., провідний судовий експерт).

**Судова експертиза: проблеми сьогодення та перспективи розвитку:**  
колективна монографія / Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз. – "£\$ "2020. - 408 с.

ISBN 978-617-+, ' ) -, ( -'

Матеріали подані в авторській редакції.

Відповідальність за зміст та орфографію матеріалів несуть автори.

ISBN 978-617-+, ' ) -, ( -'

©ЛНДІСЕ, 2020

## ЗМІСТ

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 1.33.  | Шляхи вирішення питання дослідження технічної можливості уникнення наїзду на пішохода на нерегульованих пішоходних переходах ( <i>Балук І.Г., Тодераш В.Д.</i> ).  | 224 |
| 1.34.  | Эффективность проведения комплексных экспертиз при определении механизма образования механических повреждений одежды ( <i>Будагян М.С., Мекинян Л.Н.</i> ).  | 233 |
| <b>Розділ II. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ</b> |  | 241 |
| 2.1.   | Некоторые тенденции современного развития судебной агротехнической экспертизы в Республике Беларусь ( <i>Позняк С.С.</i> ).  | 242 |
| 2.2.   | Окремі питання реалізації експертної ініціативи у забезпеченні принципу об'єктивності та повноти дослідження в судово-експертній діяльності ( <i>Каркоцький І.О.</i> ).  | 248 |
| 2.3.   | Правове регулювання судової експертної діяльності ( <i>Дуднік В.Є.</i> ).  | 252 |
| 2.4.   | Щодо визначення строків проведення експертизи ( <i>Кравченко В.О.</i> ).   | 258 |
| <b>Розділ III. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ</b>     |  | 263 |
| 3.1.   | Актуальні питання науково-методичного забезпечення ІР-експертизи ( <i>Кірін Р.С., Коротаєв В.М.</i> ).   | 264 |
| 3.2.   | Криміналістичні обліки (бази даних) як інструмент встановлення спільних ознак окремих злочинів за почерком виконання, способом виготовлення фальсифікованих ідентифікаційних носіїв інформації транспортних засобів ( <i>Новак-Кривчук Р.В.</i> ). | 274 |
| 3.3.   | Системи контролю за вантажами при їх перевезенні залізничним транспортом. Можливість використання інформації, отриманої із даних систем, при виконанні судової залізнично-транспортної експертизи ( <i>Джус О.В.</i> ).                            | 294 |
| <b>Розділ IV. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКСПЕРТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ</b>                                    |  | 301 |
| 4.1.   | The morphology analysis of the structure aluminum alloy at friction stir welding ( <i>Plitchenko S., Vakulenko I.</i> ).   | 302 |
| 4.2.   | Fractographic analysis of the destroyed side frame of the truck of a wright wagon ( <i>Vakulenko I.A., Kuzin N.O., Vakulenko L.I.</i> ).   | 306 |
| 4.3.   | Вимірювання деталей складної форми ( <i>Вовк П.Є., Гринь О.М., Сербін Є.Л.</i> ).  | 310 |
| 4.4.   | Дослідження причин сходу рухомого складу з рейкової колії ( <i>Кузишшин А.Я., Батіг А.В.</i> ).  | 315 |
| 4.5.   | Огляд найпопулярніших комп'ютерних програм, що застосовуються у сучасному судовому почеркознавстві ( <i>Савчук О.Ю.</i> ).   | 322 |
| 4.6.   | Особливості використання різних методик визначення видової належності крові в судовій експертизі ( <i>Нікітенко А.М.</i> ).  | 327 |
| 4.7.   | Отримання «root» доступу до деяких live-систем сімейства Linux ( <i>Пташкін Р.Л.</i> ).  | 334 |
| 4.8.   | Програмно-апаратні комплекси для пошуку запозичень у творах як інструмент експерта при проведенні досліджень літературних творів ( <i>Федоренко В.Л., Голікова О.В.</i> ).   | 341 |

## THE MORPHOLOGY ANALYSIS OF THE STRUCTURE ALUMINUM ALLOY AT FRICTION STIR WELDING

**Plitchenko S.**, Engineer in Department of the Applied Mechanics and Material Science, Dnipro National University of Railway Transport named after the Academician V. Lazaryan.

**Vakulenko I.**, D.T.S. (D.E.S.), Professor in Department of the Applied Mechanics and Material Science, Dnipro National University of Railway Transport named after the Academician V. Lazaryan.

*The main components of friction stir welding process of an aluminum-based alloy (AMg6) are considered. As a result of passage working tool along of connecting edges, formation a temperature gradient on their thickness determines development processes of structural changes. Based on this, in different layers of the weld, in accordance with the heating temperature, a different degree of plasticization alloy is achieved. Separate structural zones of the welded joint and their influence on the value of hardness are considered. The observed asymmetry of the weld is determined by the direction of rotation working surfaces of the tool. Based on the analysis of results of studies for the AMg6 alloy, an explanation is proposed for the formation gradient structures in the weld zone during friction stir welding.*

**Key words:** morphology analysis, material structure, material properties, friction stir welding.

**Problem statement.** The friction stir welding (FSW) [1] is one of the varieties friction welding technologies, having a fairly promising use. That is why it is necessary to investigate this process from forensic expertise's point of view.

The process of welding metal is carried out in solid phase. At that time, a high quality weld with mechanical characteristics is formed, which can be regulated in a wide range. When using FSW, in comparison with electric arc welding technology, a number of significant advantages are manifested: prevention of hot cracks; narrow zone of thermal influence; fine-grained structure; the absence of shrinkage shells, porosity, etc. Thus, welding in the solid phase allows to prevent defects of cast structure in the weld zone, which helps to improve quality of weld.

The disadvantages of the technology FSW, at modern development, include: the need for rigid fastening welded parts, the appearance of holes at beginning and end of the weld, the need for design and manufacture of special tools. The complexity of forming stressed seam and the inability to weld materials with low ductility even at high temperatures of deformation, limit use of this technology. Moreover, the friction stir welding is especially sensitive to the selection of technological parameters: the rotation frequency of the working tool, the speed of its movement along the edges, the providing constant pressure of the tool on workpiece during welding.

**Material and methodology of research.** The research material was an aluminum-based alloy (grade AMg6) with a chemical composition of 6.5% Mg, 0.85% Mn, 0.13% Fe, 0.135% Cu, and the rest was Al. The 3 mm thick plates were butt-joined using technology of friction stir welding using specially developed



equipment, which made it possible to change the welding technological parameters in a wide range of values.

Macro- and microscopic studies were carried out using methods of quantitative metallography using a light microscope of Epiquant type.

To identify the structure of alloy used Keller's etchants (1% HF, 2.5% HNO<sub>3</sub>, 1.5% HCl and 95% H<sub>2</sub>O) and a solutions of HF and HCl acids with water.

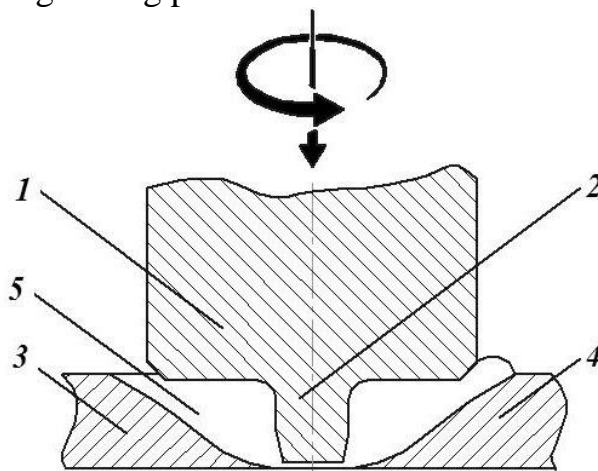
### **Results and discussions/**

The implementation of friction stir welding technology (Fig. 1) is provided by the allocated energy of friction from interaction of the working tool surfaces with the edges of connected elements [2-4].

The occurrence of friction forces ensures achievement of the required degree heating of welded edges to temperatures sufficient to accelerate the diffusion mass transfer processes and, as a consequence of that, the formation of a directed flow of plasticized metal (Fig. 1). The process of structure formation is quite sensitive to a number of factors, the main of which are the heating temperature, the degree of turbulent mixing metal of edges [5-7].

Thus, taking into account dependence of quality the welded joint on temperature and degree mixing of the alloy, there is a need for more in-depth study of the influence technological parameters of FSW on the processes of structure formation.

Considering that the quality of the welded joint during FSW depends on the formed structure in the joint zone, studying microstructure formation mechanism, and degree of metal mixing during plastic flow are actual tasks.



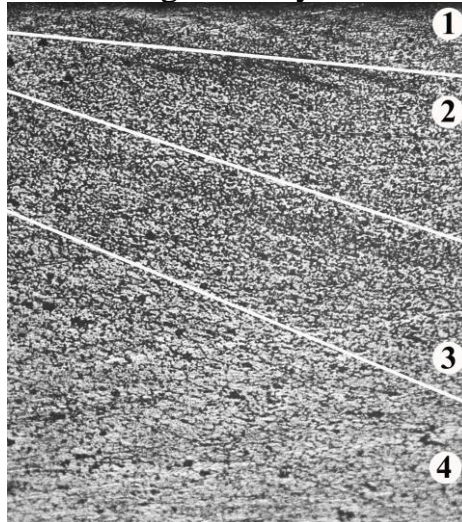
**Fig. 1 – The scheme process of friction stir welding (1 – working tool; 2 – pin; 3, 4 – the sides of the retreating and advancing of the tool on the edges; 5 – plasticized metal flow)**

Similar to traditional electric arc welding technologies, the structure of the seam and zone near it at FSW have a high heterogeneous [2, 7, 8]. This is explaining as a result of the passage of working tool, a temperature gradient necessarily arises along by thickness of the connecting edges. Based on this, one should expect for different layers of the weld metal, in accordance with the heating temperature, the formed a different degree of plasticization of the alloy. This position is confirmed by formation of metal volumes with a certain morphology and specific orientation of structural components (Fig. 2). Indeed, the illustrated

cross-sectional structure of the welded joint of AMg6 alloy in thickness consists of qualitatively different zones.

The formed asymmetry of zones relative to the seam line deserves certain attention and the observed preferential orientation of the metal volumes is determined by rotation of working tool. Depending on the direction of rotation tool and its movement along the welded edges, the differences in distribution of metal indicate the need to classify the sides of seam. The edge of workpiece and volume of seam at which the direction of rotation tool coincides with its longitudinal movement (figure 1, designation 5) are considered to be the advancing side. For the edge, when direction of rotation and welding are opposite, they are called the retreating side (Fig. 1, designation 3).

The metal in the weld nugget is subjected to significant thermomechanical effects and characterized by a sufficient plastic strain for development of «insitu» recrystallization. In this volume, the key factors that determine mechanical properties are the heating temperature and the cooling rate of metal. In addition to dynamic recrystallization, during the period of termination of the working tool, the development of static collective recrystallization can significantly increase size of grain metal.



**Fig. 2 – The structure metal of seam (1 – metal flow under the shoulder; 2 – the weld nugget; 3 – thermo-mechanical affected; 4 – heat-affected), x100**

Considering that the allotropic transformation is absent in AMg6 alloy, the cyclic nature of recrystallization may be the only factor capable of changing structure. If before welding the alloy had structure after annealing, then the hardness in weld area should be similar to value base metal. Based on this, grain size is the main factor capable of changing hardness values. If the base metal is in a state after strain hardening, then the development of recrystallization should lead to a decrease in hardness in proportion to the temperature of the metal. The presence of a substructure can be considered as an additional factor in the increase in the strength characteristics of the metal at different distances from the connection line.

The central part of seam has a fine-grained recrystallized structure with maximum hardness values. The observed softening of the metal in proportion to distance from the weld nugget indicates the need for further research.

The next after the nugget is zone of thermo-mechanical affected (TMAZ),

with a microstructure consisting of highly deformed and elongated grains in the direction of flow plasticized metal under action of working parts of the tool. In this zone, closer to the border with the heat affected zone (HAZ), the hardness decreases sharply, reaching a minimum, although the microstructure in the HAZ remains similar to base metal. Further, the hardness begins to gradually increase to the level values of metal without heating from deformation during FSW.

**Conclusions.** Based on the studies, the structural heterogeneity of alloy over the thickness of the weld is revealed, when welding by friction with stirring, which indicates development of rather complex processes that lead to a change in internal structure. An analysis of the nature of influence dimensional factor of structure elements of the alloy on the hardness level in micro volumes indicates existence in the heat-affected zone with a qualitatively different ratio.

Considering the multiphase structure of alloy under study, the simultaneous temperature and strain action during FSW is apparently capable changing the phase ratio so that effect of phase transformations can exceed the effect of shredding structural components. As a result, in such micro volumes, one can actually expect decrease in microhardness with increasing phase dispersion.

This results are important for analysing surface material levels vehicles' parts from the forensic expertise's point of view to determine the processes that caused structure transformation during the object operation, and to access the influence of the technological treatments to the reliability level of the investigated object.

### References

1. Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C. at al., Friction Welding. Patent US 5460317. – 1995.
2. Mishara R.S., Mahoney M.W. Friction stir welding and processing. - ASM International, 2007. – 368 p.
3. Gould J.E., Feng Z. Heat Flow Model for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys// Mater. Process. Manuf. Sci. – 1998. – 7 (185) – p. 185-194.
4. Xiao Y., Zhan H., Gu Y., Li Q. Modelling Heat Transfer During Friction Stir Welding Using a Meshless Particle Method// International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – 104. – p. 288 - 300.
5. Вакуленко І. О., Плітченко С. О. Визначення параметрів режиму зварювання тертям з перемішуванням сплаву на основі алюмінію// Автоматическая сварка». – 2018. – № 4. – с. 24-30.
6. Villegas J.F., Dominguez J.V., Ochoa G.V., Unfried-Silgado J., Tool Used in Aluminum Alloys Joints// Contemporary Engineering Sciences. – 2017. – 10. – p. 1659-1667.
7. Вакуленко І.А., Плітченко С.А., Мурашова Н.Г., Богомаз В.Н. Концепция определения режимасварки трением с перемешиванием// Научный вестник НГУ. – 2018. – 4. – с. 99-105.