

3. Agni Arumugam Selvi. Effect of linear direction oscillation on grain refinement. Thesis. 2014, Master of Science, Ohio State University, Mechanical Engineering, 45 p.
4. Шевельков В.В. Твёрдость – критерий упрочнения металлических материалов / В.В.Шевельков // Вестник ПсковГУ. Серия «Экономические и технические науки». – 2014. – №5 – С. 125 – 134.
5. Протодюконов М. М. Методика рационального планирования эксперимента. / М.М.Протодюконов, Р. И. Тедер. – Москва, «Наука», 1970, – 76 с.

УДК 621.79:669.15

**Берднікова О.М., канд. техн. наук, старший наук. співробітник**  
**Алексєнко Т.О. канд. техн. наук**  
**Половецький Є.В., канд. техн. наук., старший наук. співробітник**  
 Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, [poloveckiy@gmail.com](mailto:poloveckiy@gmail.com)  
**Гурнік О.О., викладач**  
 Фаховий коледж інженерії та зв'язку Національного авіаційного університету,  
[olga.gurnick@gmail.com](mailto:olga.gurnick@gmail.com)

### СТРУКТУРА ТА ХАРАКТЕР РУЙНУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ З ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ 0,31%

При виготовленні відповідальних зварних вузлів і корпусів колісної броньової техніки спеціального призначення використовують леговані термозміцненні високоміцні сталі. Основними проблемами при їх зварюванні є забезпечення достатнього рівня міцності при забезпеченні тріщиностійкості [1-3].

Дослідження проводили на модельних зразках середньовуглецевої легованої сталі (0,31%С; 93,3% Fe; 1,16% Si; 0,74% Mn; 1,16% Cr; 2,26% Ni; 0,2% V; 0,04% Al; 0,024% Ti; 0,01% S; 0,016% P), що отримані за термічними циклами зварювання (ТЦЗ) в інтервалі температур 600-500°C з різними швидкостями охолодження ( $W_{6/5}=3,8$  °C/c, 12,5 °C/c та 21 °C/c) з використанням комплексу методів досліджень: світлової металографії (Versamet-2, Neophot-32) та аналітичної растрової мікроскопії (СЭМ-515, фірми «PHILIPS», Нідерланди).

Металографічними дослідженнями встановлено, що при збільшенні швидкості охолодження до  $W_{6/5}=21$ °C/c в металі ЗТВ формується переважно мартенситна структура (95...98%), розмір пакетів зменшується в 2 рази (від 35...80 мкм до 15...50 мкм), а мікротвердість збільшується в середньому на 13 % (від 4420...5600 МПа до 4800...6810 МПа).

Для оцінки в'язкості руйнування ( $K_{1C}$ ) та тріщиностійкості металу зразків броньової сталі проводили фрактографічні дослідження впливу структурних факторів на характер тріщиноутворення в умовах випробувань при зовнішньому навантаженні вигином. Механічними випробуваннями показано, що найбільший показник в'язкості руйнування  $K_{1C} = 110$  МПа $\times$ м<sup>1/2</sup> металу отримано при швидкості охолодження  $W_{6/5} = 3,8$  °C/c, табл.1. При збільшенні швидкості охолодження до  $W_{6/5}=12,5$  °C/c та  $W_{6/5}=21$  °C/c значення  $K_{1C}$  знижується, що пов'язано зі зменшенням кількості нижнього бейніту (до ~ 2...5%) та збільшенням кількості мартенситної складової.

Таблиця 1. Результати механічних випробувань на вигин броньової сталі 71 після імітації ТЦЗ при різних швидкостях охолодження ( $W_{6/5}$ )

	Швидкість охолодження ( $W_{6/5}$ )		
	$W_{6/5}=3,8$ °C/c	$W_{6/5}=12,5$ °C/c	$W_{6/5}=21$ °C/c
$K_{1C}$ , МПа $\times$ м <sup>1/2</sup>	110	85	70

Після випробувань на вигин було проведено детальний фрактографічний аналіз структури зламів зразків сталі з урахуванням типів руйнування та параметрів елементів мікрорельєфу поверхні руйнування за характерними зонами зламів: зона втомної тріщини (біля надрізу); зона магістрального руйнування (рис. 1); зона долому.

В результаті, фрактографічними дослідженнями встановлено, що оптимальна структура броньової сталі з точки зору фазового складу, мінімальних параметрів елементів рельєфу поверхні руйнування, відсутності вторинних тріщин при максимальній об'ємній частці в'язкої складової (90%) формується при охолодженні металу зі швидкістю  $W_{6/5}=3,8$  °C. Це пов'язано зі збільшенням кількості нижнього бейніту до 10...12%

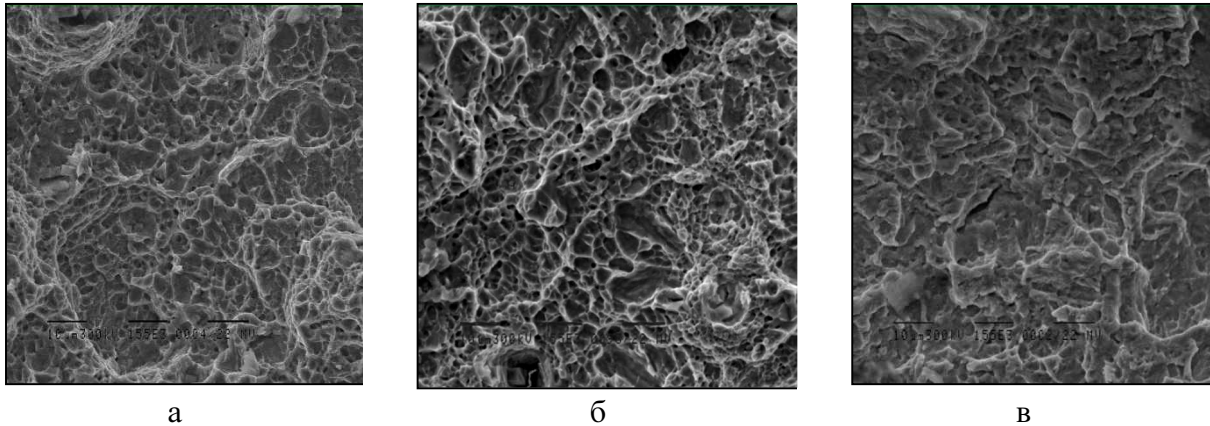


Рис. 1. – Характер руйнування в зоні магістрального розвитку тріщини броньової сталі (а -  $W_{6/5}=3,8$ °C/c; б -  $W_{6/5}=12$ °C/c; в -  $W_{6/5}=21$ °C/c)  $\times 1550$ .

#### Список посилань

1. Скульский В.Ю. Особенности кинетики замедленного разрушения сварных соединений закаливающихся сталей (2009) Автоматическая сварка, 7, 14–20.
2. Гайворонский А.А., Саржевский В.А., Гордонный В.Г. (1997). Свариваемость среднеуглеродистой легированной стали 38Х2МЮА. Автоматическая сварка, 4, 20–24.
3. Костин В. А., Григоренко Г. М., Позняков В. Д.(2019) Особенности формирования структуры металла ЗТВ сварных соединений зарубежных специальных сталей. Сварочное производство, 12, 50-56.

УДК 621.791.72

Кушнарева О.С. канд. техн. наук  
Бердникова Е.Н., канд. техн. наук, старший научн. сотрудник  
Бернацкий А.В. канд. техн. наук  
Кушнарева Т.Н. млад. научн. сотрудник  
Алексеев И.И. млад. научн. сотрудник  
Институт электросварки им. Е.О. Патона, [olgakus@meta.ua](mailto:olgakus@meta.ua)

#### СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНЫМ И ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Одной из главных задач при изготовлении деталей машин и механизмов является обеспечение их служебных характеристик, что, как правило, зависит от условий их эксплуатации и от соответствующих свойств материалов, из которых эти детали изготовлены [1, 2]. Для конструкций с особыми свойствами их поверхностей, работоспособность и увеличение срока службы могут быть обеспечены за счет технологий упрочнения поверхностных слоев, к которым относятся современные лазерные и лазерно-плазменные способы их обработки [3]. Следует отметить, что в условиях использования этих технологий возникают проблемы, в значительной степени связанные с накоплением