

# О МЕХАНИЗМЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ОБЗОР)

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ<sup>1</sup>, М. В. АГЕЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет».

87500, Донецкая обл., г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. E-mail: razmyshljaev@rambler.ru

<sup>2</sup>Донбасская государственная машиностроительная академия.

84313, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Академическая, 72. E-mail: magyna\_ah@ukr.net

Целью работы является анализ имеющихся литературных данных о механизме измельчения структуры швов при дуговой сварке с воздействием управляющих магнитных полей. Показано, что в настоящее время различные авторы по-разному объясняют факты измельчения структурных составляющих металла шва либо наплавленного металла при дуговой сварке с воздействием продольного магнитного поля. Нет единого мнения авторов о важнейших факторах, определяющих измельчение структурных составляющих металла шва при сварке с воздействием продольного магнитного поля. Показано, что необходимо также изучить особенности влияния продольного магнитного поля на формирование вторичных структур в шве при дуговой сварке. Не установлено, на какой стадии происходит измельчение структуры сварных швов при воздействии магнитных полей: при первичной кристаллизации, либо при вторичных превращениях или одновременно на этих двух стадиях. Необходимо выполнение исследований в этом направлении с целью разработки оптимальных параметров внешних магнитных полей для измельчения структуры швов при дуговой сварке. Библиогр. 20, рис. 1.

*Ключевые слова:* измельчение структуры металла шва, кристаллит, внешние магнитные поля, фактор измельчения

Как известно, уменьшение размера зерна приводит к повышению предела текучести металла в соответствии с соотношением Холла–Петча [1]. Имеется значительное количество публикаций, в которых установлено, что при дуговой сварке с воздействием продольных магнитных полей (ПРМП), либо поперечных магнитных полей (ПОМП), происходит измельчение структуры металла шва (наплавки) и повышение механических свойств сварных швов. Однако воздействие указанных полей при сварке не всегда приводит к измельчению металла шва. Авторы по-разному объясняют влияние магнитных полей (МП) на величину структурных составляющих металла сварного шва, образующегося при его кристаллизации.

Рассмотрим существующие представления (гипотезы) некоторых авторов о механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием МП.

Следует отметить, что имеются фундаментальные работы по теории кристаллизации металла в процессе его затвердевания [2, 3]. Однако эти работы относятся к литейным процессам, либо к получению сверхчистых монокристаллитов. Условия кристаллизации металлов, описанные в них, существенно отличаются от условий кристаллизации металла в сварочной ванне, и частично могут быть применены к условиям сварочного процесса.

Целью настоящей работы является анализ имеющихся публикаций по установлению механизма измельчения первичной и вторичной структуры швов при сварке с воздействием магнитных полей.

В одной из первых работ [4] применительно к сварке титанового сплава ОТ4-1 толщиной 1,5 мм и жаропрочного аустенитного сплава типа нимо-ник толщиной 10 мм с воздействием ПРМП высказано предположение о том, что малозаметное измельчение структуры швов сплава ОТ4-1 связано с тем, что фронт кристаллизации имеет относительно ровную поверхность, а значительное измельчение шва аустенитного сплава связано с тем, что фронт кристаллизации представляет собой массу растущих игл, дробление которых требует меньших затрат энергии, т. е. механизм влияния детально не указан.

Позже, в публикации [5] этих авторов указано, что основное значение для измельчения структуры имеют диффузионные процессы и температурные колебания жидкой фазы, периодически меняющие степень концентрационного переохлаждения. При этом важны не механические, а температурные колебания жидкой фазы в ванне. Но решающую роль при этом имеет концентрационное переохлаждение.

В работе [6] установлено, что низкочастотная вибрация сварочной ванны при сварке не приводит к звуковому резонансному воздействию и не

может разрушить растущие кристаллы. Полагают, что в расплаве возникают волны давления. Это создает мгновенные градиенты температур между соседними точками в остывающем расплаве, что приводит к увеличению числа дислокаций и к измельчению зерна.

Вопрос о возможности дробления растущих кристаллов движущимся под воздействием ПРМП (либо ПОМП) жидким металлом является дискуссионным. В одной из работ [7] утверждается, что такое дробление происходит, а в другой работе [8] утверждается, что не происходит.

В работе [9] проводили киносъемку процесса кристаллизации при сварке никеля с воздействием ПРМП. Установлено, что кристаллизация начинается на оплавленных зернах основного металла, затем происходит продвижение плоского фронта кристаллизации. Скопление примесей перед движущимся плоским фронтом стимулирует концентрационное переохлаждение, что приводит к распаду этого плоского фронта и образованию ячейки на межфазной поверхности. В результате выравнивания температур в объеме сварочной ванны при сварке с воздействием ПРМП перед фронтом кристаллизации повышается температурный градиент [10–12].

В работе [11] рассмотрены нетравленные поверхности фронта кристаллизации, выявленные при выплеске жидкого металла ванны в процессе сварки титана и его сплавов. Обнаружено уменьшение поперечных размеров кристаллов при воздействии ПРМП. Это наблюдали также при сварке с воздействием ПРМП хромоникелевых сталей под флюсом и в среде аргона. При сварке с воздействием ПРМП всегда повышалась однородность структуры и снижалась химическая неоднородность структуры швов. Это объяснялось изменением кинетики кристаллизации, обусловленной периодическими изменениями параметров зоны концентрационного переохлаждения перед межфазной поверхностью, зависящей от градиента температур у фронта кристаллизации. Выделяют два полупериода колебания температур у этого фронта: горячий и холодный. В первый (горячий) полупериод фронт кристаллизации перегрет в головной части ванны, жидкий металл омывает его и повышает, при этом, градиент температур у фронта по сравнению с его величиной при сварке без воздействия ПРМП. Это приводит к уменьшению скорости роста кристаллитов, уменьшает размер двухфазной области, сокращает протяженность зоны концентрационного переохлаждения. Во втором (холодном) полупериоде кристаллизации градиент температур в зоне кристаллизации снижается до значений, меньших, чем при сварке без воздействия ПРМП. При этом увеличивается

размер зоны концентрационного переохлаждения, ускоряется кристаллизация, измельчаются структурные составляющие. При воздействии знакопеременного ПРМП максимальные скорости кристаллизации в 1,5...10,0 раз превышают скорость кристаллизации, характерную для процесса сварки без воздействия ПРМП. Высказанные представления этих авторов достаточно убедительны. Однако для повышения их достоверности желательно установить, имеется ли чередование слоев более мелких и крупных кристаллитов, которые по очертаниям должны повторять границы хвостовой части ванны.

В работе [13] показано, что в условиях дуговой сварки в процессе кристаллизации при температурных флуктуациях возле фронта кристаллизации неизбежно оплавление затвердевшего металла. При этом в первую очередь оплавляются участки твердой фазы, которые имеют большее содержание легирующих элементов, а следовательно, более низкую температуру плавления. У дендритов такими участками являются основания ветвей второго порядка. При флуктуациях температуры вблизи межфазной поверхности происходит отделение ветвей дендритов от главного ствола. Отделившаяся дендритная ветвь может образовать новый кристалл без дополнительного зародыша. За время паузы (при воздействии знакопеременного ПРМП с паузами) фронт кристаллизации должен продвинуться на расстояние, равное толщине двухфазной области. Такой подход позволил получить оптимальную частоту следования и жесткость импульсов знакопеременного ПРМП, необходимые для измельчения зерна. Установлено, что оптимальной является частота ПРМП в пределах 0,6...15,0 Гц, что совпадает с рекомендованными значениями частот во многих работах. Утверждается также, что при сварке чистых металлов и сплавов с низким интервалом кристаллизации измельчение первичных кристаллов практически не происходит (при сварке с воздействием ПРМП). Это связано с малой толщиной двухфазной зоны и неразвитостью осей дендритов второго порядка. На наш взгляд, при дуговой сварке и наплавке, когда чаще всего наблюдается дендритная кристаллизация, этот механизм измельчения структуры возможен. Он указан также в работе [12]. Однако следует учитывать, что если более легкоплавкие фрагменты ветвей второго порядка будут вынесены в более горячий жидкий металл ванны перед фронтом кристаллизации, то они расплавятся, и не будут играть роль центров кристаллизации.

Когда идет речь о направлении роста кристаллитов в ванне, то для случая дуговой сварки без внешних воздействий общепринято, что направ-

ление это описывается уравнением, предложенным В. М. Шаманиным [14–16] (рис. 1, а):

$$v_k = v_{cb} \cos \alpha,$$

где  $v_{cb}$  — скорость сварки, м/с;  $\alpha$  — угол между направлением роста кристалла в каждый определенный момент кристаллизации и направлением перемещения источника тепла (ось  $Ox$ ).

В точке А угол  $\alpha = 90^\circ$ , т. е. скорость роста кристалла  $v_k$  у боковых кромок ванны равна нулю. В точке С при завершении роста кристалла угол  $\alpha = 0$  и тогда  $v_k$  становится равной скорости сварки. Направление оси кристалла (линия АВС) ортогонально к линии AD (рис. 1, а).

При дуговой сварке и наплавке под флюсом, когда  $I_{cb} = 500 \dots 1000$  А, скорость сварки  $v_{cb} = 20 \dots 40$  м/ч и выше (как показало изучение выплесков сварочной ванны) форма ванны соответствует форме, приведенной на рис. 1, б, т. е. ванна имеет значительную длину ( $L_b = 50 \dots 100$  мм и выше). Боковые кромки ванны (у точки А) почти параллельны оси  $Ox$ . Если сместить линию AD влево на определенный шаг (линия А'D' на рис. 1, б), точки А, В, С также сместятся на такой шаг (линия А'В'С'), т. е. точка А также сместится на такой шаг и тогда скорость кристаллизации в точке А  $v_k = v_{cb}$  и кристалл в этой точке должен расти в направлении сварки (оси  $Ox$ ) со скоростью  $v_{cb}$ . В связи с этим неизвестно как зарождаются и растут кристаллы на боковых участках ванны (на участке АА') и первого или второго порядка будут оси дендритов (кристаллов) в этой зоне. Аналогично и в промежуточной точке В. Это обстоятельство не учитывается формулой и не рассмотрено во всех цитируемых выше работах и учебниках [14–16]. Это требует более обстоятельного исследования.

В работе [13], как и в работе [5], придерживаются мнения, что величины сил, возникающих в ванне при воздействии ПРМП, явно недостаточно для дробления растущих кристаллов. Как и авторы работы [11] они полагают, что ведущим фактором измельчения структуры является концентрационное переохлаждение.

В упомянутых выше работах рассматривалось влияние ПРМП при сварке на измельчение первичной структуры. Однако можно предположить, что потоки жидкого металла, инициируемые при сварке воздействием ПРМП, влияют на формирование (измельчение) вторичных структур.

В работах [17, 18] показано, что ПРМП при дуговой сварке влияет на образование границ кристаллов. Это происходит за счет дополнительного динамического давления на фронт растущих кристаллов расплавленным металлом ванны, что создает напряжения и упругие деформации в твердой фазе, приводит к образованию значительного количества дислокаций. Такой механизм измель-

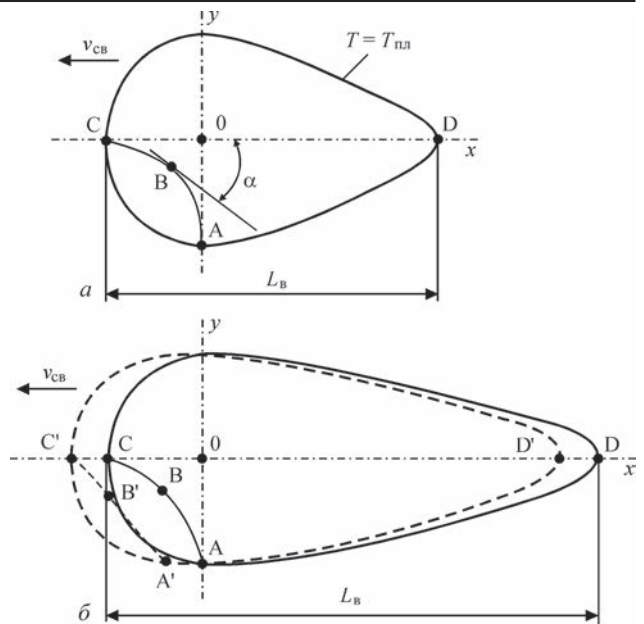


Схема определения направления роста кристаллитов: а — короткая ванна; б — форма ванны применительно к сварке на форсированных режимах

чения структуры происходит, по мнению авторов работы [18], при сварке технически чистых металлов, в частности, титана и никеля при сварке с воздействием ПРМП.

Общеизвестным является то, что для сварных швов характерна периодичность кристаллизации. Этот факт объясняется наличием слоистости при кристаллизации сварных швов [14], обусловленной остановками кристаллизации в период выделения скрытой теплоты кристаллизации.

В работах [19, 20] показано, что для сверхчистых (и технически чистых) металлов, когда реализуется термическое переохлаждение, а также при кристаллизации сплавов (при наличии примесей), когда реализуется не только термическое, но и концентрационное переохлаждение, наблюдается слоистое строение при кристаллизации швов в процессе сварки без внешних воздействий. Показано, что частота естественной кристаллизации швов зависит от скорости сварки, химического состава свариваемого металла и его толщины. Авторы работ [19, 20] предлагают метод измельчения структуры швов за счет согласования частоты внешних возмущений (в том числе и действия ПРМП) с собственной частотой кристаллизации, чтобы наступил резонанс. Однако механизм достижения измельчения структур при достижении резонанса, изложенный авторами, на наш взгляд, не является убедительным. Необходимо проведение дополнительных исследований для подтверждения действия указанного механизма измельчения структурных составляющих швов.



**Выводы**

1. В настоящее время существует много гипотез о механизме измельчения структуры швов с воздействием управляющих МП. Необходимо выполнение дальнейших исследований по установлению ведущих факторов, определяющих измельчение структуры сварных швов при сварке с воздействием МП.

2. Не установлено, на какой стадии происходит измельчение структуры сварных швов при воздействии МП: при первичной кристаллизации, при вторичных преобразованиях, либо одновременно на этих двух стадиях. Необходимо выполнение исследований в этом направлении с целью разработки оптимальных параметров ПРМП (ПОМП) для измельчения структуры швов при дуговой сварке.

**Список литературы**

1. Лахтин Ю. М. (1977) *Металловедение и термическая обработка металлов*. Москва, Металлургия.
2. Чалмерс Б. (1968) *Теория затвердевания*. Москва, Металлургия.
3. Флемингс М. (1977) *Процессы затвердевания*. Москва, Мир.
4. Болдырев А. М., Дорофеев Э. В., Антонов Е. Г. (1971) Управление кристаллизацией металла при сварке плавлением. *Сварочное производство*, **6**, 35–37.
5. Болдырев А. М. (1976) О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну. *Там же*, **2**, 53–55.
6. Сутырин Г. В. (1975) Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны. *Автоматическая сварка*, **5**, 7–10.
7. Черныш В. П., Пахаренко В. А. (1979) Кинетика кристаллизации ванны при сварке с электромагнитным перемешиванием. *Там же*, **3**, С. 5–7.
8. Аристов С. В., Руссо В. Л. (1982) Кристаллизация металла шва при низкочастотных колебаниях расплава. *Сварочное производство*, **11**, 42–44.
9. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У., Кулуашев А. Т. (1977) Особенности кристаллизации металла сварочной ванны в условиях электромагнитного перемешивания. *Автоматическая сварка*, **8**, 7–11.
10. Малинкин И. В., Черныш В. П. (1970) Выбор режимов электромагнитного перемешивания сварочной ванны. *Там же*, **7**, 14–16.
11. Черныш В. П., Кузнецов В. Д., Брискман А. Н. и др. (1983) *Сварка с электромагнитным перемешиванием*. Киев, Техника.
12. Кораб Н. Г., Кузнецов В. Д., Черныш В. П. (1990) Оценка воздействия управляющего магнитного поля на кристаллизацию при дуговой сварке. *Автоматическая сварка*, **2**, 33–36.
13. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У. (1982) О механизме измельчения первичной структуры металла сварного шва при электромагнитном воздействии. *Там же*, **2**, 18–21.
14. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. (1976) *Теория сварочных процессов*. Киев, Вища школа.
15. Фролов В. В. (ред.) (1970) *Теоретические основы сварки*. Москва, Высшая школа.
16. Фролов В. В. (ред.) (1988) *Теория сварочных процессов*. Москва, Высшая школа.
17. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У. (1975) Кинетика образования вторичных границ и развитие горячих трещин при сварке никеля. *Автоматическая сварка*, **2**, 31–34.
18. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У. (1980) Некоторые особенности формирования вторичных границ в свар-

ных швах при электромагнитном воздействии. *Там же*, **2**, 12–18.

19. Морозов В. П. (2006) Анализ условий формирования измельченной структуры при кристаллизации металла сварочной ванны с наложением внешних периодических возмущений. *Известия вузов. Машиностроение*, **8**, 41–54.
20. Морозов В. П. (2011) Влияние синхронизации собственной частоты колебательного механизма кристаллизации шва и частоты внешнего периодического воздействия на технологическую прочность в процессе сварки. *Наука и образование*, **12**, 1–14.

**References**

1. Lakhtin, Yu.M. (1977) *Physical metallurgy and heat treatment of metals*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
2. Chalmers, B. (1968) *Theory of solidification*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
3. Flemings, M. (1977) *Processes of solidification*. Moscow, Mir [in Russian].
4. Boldyrev, A.M., Dorofeev, E.V., Antonov, E.G. (1971) Control of crystallization of metal in fusion welding. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 35-37 [in Russian].
5. Boldyrev, A.M. (1976) On mechanism of formation of weld metal structure by introduction of low-frequency oscillations to weld pool. *Ibid.*, **2**, 53-55 [in Russian].
6. Sutyurin, G.V. (1975) Study of mechanism of impact of low-frequency vibration on crystallization of weld pool. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 7-10 [in Russian].
7. Chernysh, V.P., Pakharenko, V.A. (1979) Kinetics of crystallization of pool in welding with electromagnetic stirring. *Ibid.*, **3**, 5-7 [in Russian].
8. Aristov, S.V., Russo, V.L. (1982) Crystallization of weld metal in low-frequency oscillations of melt. *Svarochn. Proizvodstvo*, **11**, 42-44 [in Russian].
9. Abralov, M.A., Abdurakhmanov, R.U., Kuluashev, A.T. (1977) Peculiarities of crystallization of weld metal pool under electromagnetic stirring conditions. *Avtomatich. Svarka*, **8**, 7-11 [in Russian].
10. Malinkin, I.V., Chernysh, V.P. (1970) Selection of modes of welding pool electromagnetic stirring. *Ibid.*, **7**, 14-16 [in Russian].
11. Chernysh, V.P., Kuznetsov, V.D., Briskman, A.N. et al. (1983) *Welding with electromagnetic stirring*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
12. Korab, N.G., Kuznetsov, V.D., Chernysh, V.P. (1990) Evaluation of effect of controllable magnetic field on crystallization in arc welding. *Avtomatich. Svarka*, **2**, 33-36 [in Russian].
13. Abralov, M.A., Abdurakhmanov, R.U. (1982) On mechanism of refining of weld metal primary structure in electromagnetic action. *Ibid.*, **2**, 18-21 [in Russian].
14. Bagryansky, K.V., Dobrotina, Z.A., Khrenov, K.K. (1976) *Theory of welding processes*. Kiev, Vyshcha Shkola [in Russian].
15. (1970) *Theoretical principles of welding*. Ed. by V.V. Frolov. Moscow, Vysshaya Shkola [in Russian].
16. (1988) *Theory of welding processes*. Ed. by V.V. Frolov. Moscow, Vysshaya Shkola [in Russian].
17. Abralov, M.A., Abdurakhmanov, R.U. (1975) Kinetics of formation of secondary boundaries and propagation of hot cracks in welding of nickel. *Avtomatich. Svarka*, **22**, 31-34 [in Russian].
18. Abralov, M.A., Abdurakhmanov, R.U. (1980) Some peculiarities of formation of secondary boundaries in welds in electromagnetic impact. *Ibid.*, **2**, 12-18 [in Russian].
19. Morozov, V.P. (2006) Analysis of conditions of refined structure formation in crystallization weld pool metal with periodic oscillation superposition. *Izv. Vuzov. Mashinostroenie*, **8**, 41-54 [in Russian].
20. Morozov, V.P. (2011) Effect of synchronization proper frequency of oscillation mechanism of weld crystallization and frequency of external periodic impact on technological strength during welding. *Nauka i Obrazovanie*, **12**, 1-14 [in Russian].

О. Д. Размышляев<sup>1</sup>, М. В. Агеева<sup>2</sup>

A. D. Razmyshlyayev<sup>1</sup> and M.V. Ageeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». 87500, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.  
E-mail: razmyshljaev@rambler.ru

<sup>1</sup>SHEI «Pryazovskyi State Technical University». 7 Universitetskaya Str., Mariupol, 87500, Donetsk region.  
E-mail: razmyshljajev@rambler.ru

<sup>2</sup>Донбаська державна машинобудівна академія. 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.  
E-mail: maryna\_ah@ukr.net

<sup>2</sup>Donbass State Engineering Academy. 72 Akademicheskaya Str., Kramatorsk, 84313, Donetsk region.  
E-mail: maryna\_ah@ukr.net

ПРО МЕХАНІЗМ ПОДРІБНЕННЯ СТРУКТУРИ  
МЕТАЛУ ШВА ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ  
З ДІЄЮ МАГНІТНИХ ПОЛІВ (Огляд)

ON MECHANISM OF WELD METAL STRUCTURE  
REFINEMENT IN ARC WELDING UNDER EFFECT  
OF MAGNETIC FIELDS (Review)

Метою роботи є аналіз наявних літературних даних щодо механізму подрібнення структури швів при дуговому зварюванні із дією керуючих магнітних полів. Показано, що в теперішній час різні автори по-різному пояснюють факти подрібнення структурних складових металу шва або наплавленого металу при зварюванні з дією поздовжнього магнітного поля. Немає єдиної думки авторів щодо найважливіших факторів, що визначають подрібнення структурних складових металу шва при зварюванні з дією поздовжнього магнітного поля. Показано, що необхідно також вивчити особливості дії поздовжнього магнітного поля на формування вторинних структур в шві при дуговому зварюванні. Не встановлено, на якій стадії відбувається подрібнення структури зварних швів при дії магнітних полів: при первинній кристалізації, або при вторинних перетвореннях, або одночасно на цих двох стадіях. Необхідно виконання досліджень в цьому напрямку з метою розробки оптимальних параметрів зовнішніх магнітних полів для подрібнення структури швів при дуговому зварюванні.

Aim of the work is the analysis of available references on mechanism of refinement of weld structure in arc welding under effect of controlling magnetic fields. It is shown that today different authors have various explanations of the facts of refinement of weld metal structural constituents or deposited metal in arc welding under effect of longitudinal magnetic field. There is no single solution between the authors on the most important factors determining refinement of the weld metal structural constituents in welding under effect of a longitudinal magnetic field. It is shown that peculiarities of effect of the longitudinal magnetic field on formation of secondary structures in a weld during arc welding also require investigation. It is not determined what is the stage where the weld metal structure refinement takes place under the effect of magnetic field, namely during primary solidification or during secondary transformations or simultaneously during these two stages. It is necessary to carry out investigations in this direction in order to develop the optimum parameters of the external magnetic fields for weld structure refinement in arc welding. 20 Ref., 1 Fig.

**Ключові слова:** подрібнення структури металу шва, кристаліт, зовнішні магнітні поля, фактор подрібнення

**Keywords:** weld metal structure refinement, crystalline particle, external magnetic fields, refinement factor

Поступила в редакцію 13.01.2018

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. О. ПАТОНА НАНУ  
МІЖНАРОДНА АСОЦІАЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ»



**Міжнародна конференція  
«ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ – СЬОГОДЕННЯ І МАЙБУТНЄ»**

Присвячується 100-річчю  
Національної академії наук України

5 – 6 грудня, 2018 р.  
Україна, м. Київ

Голова:  
академік НАН України Л. Лобанов  
НАУКОВІ НАПРЯМКИ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Технології, матеріали і обладнання для зварювання і споріднених процесів
- Міцність зварних конструкцій, теоретичні та експериментальні дослідження напружено-деформуючих станів та їх регулювання
- Вдосконалення зварних конструкцій, автоматизація їх розрахунку і проектування, оцінка і подовження ресурсу
- Нові конструкційні матеріали
- Неруйнівний контроль і технічна діагностика
- Інженерія поверхні
- Зварювання в медицині – технології, обладнання; наноматеріали і нанотехнології
- Проблеми екології зварювального виробництва
- Спеціальна електрометалургія
- Стандартизація, сертифікація продукції зварювального виробництва, підготовка і атестація спеціалістів

Відправлення тез доповідей для участі в роботі конференції – до 01.11.2017 р.

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України,  
вул. Казимира Малевича (Боженка), 11, м. Київ, 03680  
тел.: (38044) 200-60-16; 200-47-57; факс: (38044) 528-04-86  
E-mail: office@paton.kiev.ua  
www.paton.kiev.ua | www.patonpublishinghouse.com