

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

**В.В. Перемитько, И.В. Коломеец, В.И. Сухомлин**

Днепропетровский государственный технический университет.

51918, г. Каменское, Днепропетровская обл., ул. Днепропетровская, 2

Рассмотрена эффективность использования различных схем предварительного нанесения легирующих порошков на структуру и твердость металла наплавленного дугowym методом. Установлены оптимальные параметры процесса и удельные расходы дополнительных (легирующих) материалов с предварительной их фиксацией. Наибольшие показатели твердости наплавленного металла достигаются при локальном внесении TiC с фиксацией грунтовкой ГФ-021. Библиогр. 11, табл. 1, рис. 4.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, легирующие порошки, схемы долегиования, фиксация дополнительных материалов, режимы наплавки, структура, твердость

Для деталей, особенно значительных размеров, характерным является неравномерный износ по площади контакта. В связи с этим логичным выглядит проведение восстановительной наплавки или предварительного упрочнения таких поверхностей материалами переменного состава, в соответствии с фактическими изменениями линейных размеров.

В разное время были предложены способы наплавки слоев в шахматном порядке и многодуговой наплавки с применением высокоуглеродистых проволок и легирующих флюсов [1, 2]. Недостатком таких схем является потребность в замене электродного материала для достижения переменности состава и свойств, необходимость изменения скорости подачи проволоки, а также сомнительное постоянство удельного объема металла, наносимого по длине валика или площади поверхности.

Практика дуговой наплавки с предварительным внесением дополнительных материалов позволила решить ряд задач по повышению износостойкости наплавленного металла. Было предложено несколько подобных схем, реализованных при дуговой наплавке [3–9]. Наиболее эффективными из них, на основе полученных данных твердости и износостойкости, можно считать следующие схемы: 1 — нанесение углеродных волокон на тела вращения; 2 — введение в сварочную ванну нанопорошков SiO<sub>2</sub>; 3 — нанесение на обрабатываемую поверхность смеси SiO<sub>2</sub> + Fe в виде шихты. При схеме 1 углеродные волокна наносились по образующей, что позволило получить твердость HRC 60...65 и снизить потерю массы в 2,7 раза. Схема 2 предусматривала перемешива-

ние нанопорошков с флюсом. С применением такой схемы получили твердость наплавленного металла HRC 42 при снижении потери массы в 6 раз. Наплавка по схеме 3 позволила снизить потерю массы в 2,5 раза при твердости HRC 20.

С точки зрения лучшего перехода вносимых легирующих материалов в наплавленный металл наиболее эффективной следует считать схему 3: размещение дополнительных порошков на периферии валика способствует лучшему сохранению материала из-за более низких температур в этой зоне.

Учитывая перспективность введения легирующих материалов в сварочную ванну и их роль в структурных преобразованиях и улучшении механических свойств металла, актуальным представляется выявление эффекта от состава и способа предварительной фиксации таких материалов при дугowych сварочных процессах.

Цель работы — определение эффективности различных схем дополнительного внесения при дуговой наплавке легирующих порошковых материалов на изменения структуры и твердости наплавленного металла как по абсолютной величине, так и по зонам наносимых валиков.

Для изучения влияния состава дополнительных материалов на свойства наплавленного металла было решено выбрать пастообразную эмульсию TiC и волокна фуллерена C<sub>60</sub>. Такой выбор обоснован влиянием упомянутых выше материалов на свойства металла: TiC является самым твердым среди существующих карбидов (20000 МПа) [10], а C<sub>60</sub> повышает микротвердость сварных соединений [11]. Материал вводился в виде полос, локально, на периферию запланированного валика. Это обусловлено тем, что суще-

ствует риск выгорания материалов в случае расположения их непосредственно под дугой. Для фиксации эмульсии TiC применяли два варианта: использование пасты в чистом виде и фиксация с помощью грунтовок ГФ-021. Наплавку выполняли с перекрытием одиночных валиков, на пластины из стали 20 под флюсом АН-348А проволокой Св-08А диаметром 3 мм на установке типа АДС-1000. Параметры режима следующие: сварочный ток  $500 \pm 10$  А, напряжение на дуге  $30 \pm 1$  В, скорость наплавки 25...35 м/ч, эксцентриситет наложения слоев материала 5...8 мм. Для исследования твердости наплавленного металла вырезались образцы толщиной 20 мм. Для всех схем режимы оставались неизменными.

При проведении экспериментов применяли центральный композиционный ротатбельный план 2-го порядка для двух факторов — погонной энергии  $q_{\text{пог}}$ , Дж/мм, и удельных расходов материала  $n$ , г/пог. мм. Измерения твердости проводили на твердомере ТК-2. Акцент был сделан на значениях твердости на периферии и в нижней части валика. Измерение именно в этих участках было проведено для выявления локализации зон повышенной твердости. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью математического пакета STATISTICA 7.0. Результаты экспериментов приведены в таблице.

На основе обработанных данных были получены регрессионные зависимости:

$$HV_{\text{перекрытие}} = 282,1948 - 0,007q - 489,5833n, \quad (1)$$

$$HV_{\text{периферия}} = 270,2357 - 0,016q - 41,6667n, \quad (2)$$

$$HV_{\text{нижняя часть}} = 354,1273 - 0,0598q + 562,5n. \quad (3)$$

Данные уравнения позволяют расчетным путем спрогнозировать значения твердости в разных участках наплавленного валика на основе погонной энергии и ожидаемых удельных расходов.

При анализе построенных графиков зависимостей (рис. 1) было установлено, что:

- существенному повышению твердости на периферии валика способствует увеличение погонной энергии до 1800...1900 Дж/мм и удельных расходов до  $0,8 \cdot 10^{-2}$ ... $1,6 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм. Это может быть связано с высоким коэффициентом перехода дополнительного материала в наплавленный металл при обеспечении умеренных его расходов и высоком тепловложении. Такой вывод базируется на том, что увеличение удельных затрат в пределах  $1,6 \cdot 10^{-2}$ ... $3,2 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм при тех же значениях тока, напряжения и скорости сварки приводило к снижению твердости;

- в нижней части валика существенное увеличение твердости наблюдается при погонной энер-

Результаты экспериментов

Номер образца	Погонная энергия $q_{\text{пог}}$ , Дж/мм	Удельные расходы материалов $n$ , г/пог. мм	HV		
			на периферии валика	в месте перекрытия	в нижней части
1	1848	0,032	192	187	187
2	1848	0	255	293	241
3	1314	0,032	293	302	262
4	1314	0	241	229	277
5	1536	0,032	248	255	277
6	1536	0	241	269	262
7	1848	0,016	293	302	262
8	1314	0,016	241	262	241
9	1536	0,016	192	269	255

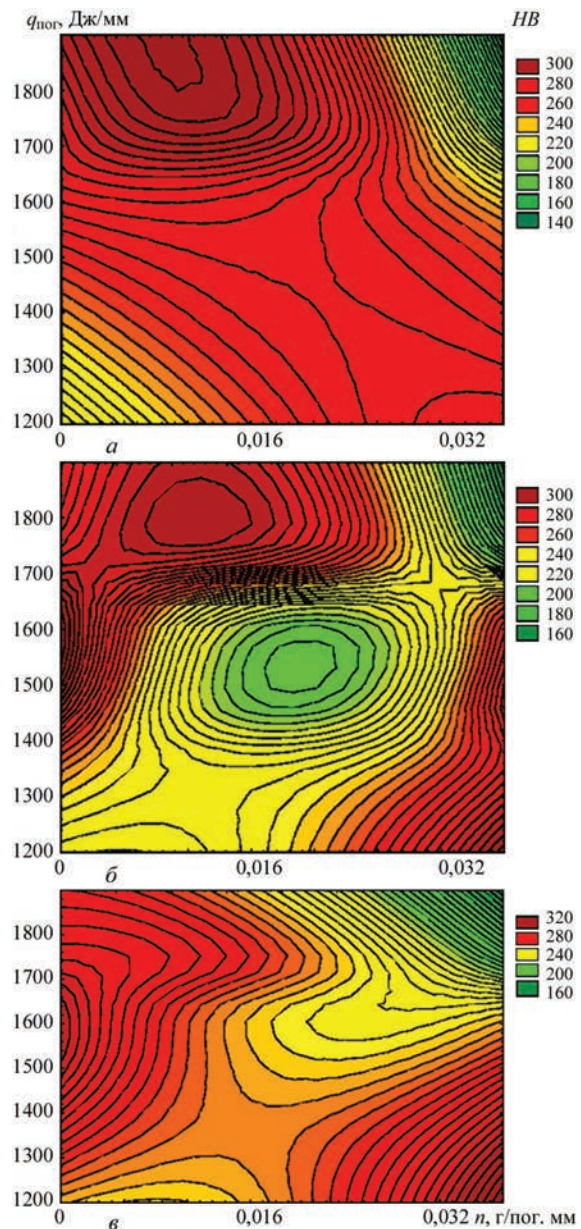


Рис. 1. Зависимость твердости от погонной энергии и удельных расходов: а — в зоне перекрытия; б — на периферии валика; в — в нижней части валика

гии в пределах 1200...1300 Дж/мм и удельных затратах  $1,6 \cdot 10^{-2}$ ... $3,2 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм. Данные зна-

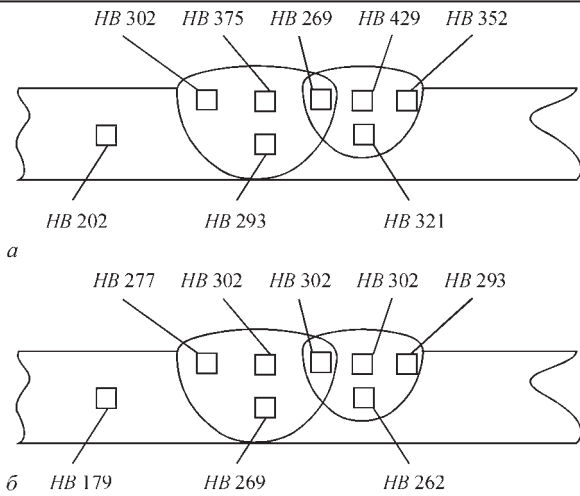


Рис. 2. Результаты измерения твердости металла, наплавленного с разными способами фиксации дополнительных материалов: а — при фиксации TiC с помощью грунтовки; б — при фиксации TiC в чистом виде

чения подтверждают сформулированный выше вывод, что для обеспечения лучшей сохранности дополнительных материалов, с целью достижения максимального эффекта от локальной фиксации, нужно обеспечивать удельные расходы, обратно пропорциональные тепловложению.

Максимальные значения твердости получены при введении TiC: на периферии — HV 293, в зоне перекрытия — HV 302 и в нижней части валика — HV 277 при твердости основного металла HV 197.

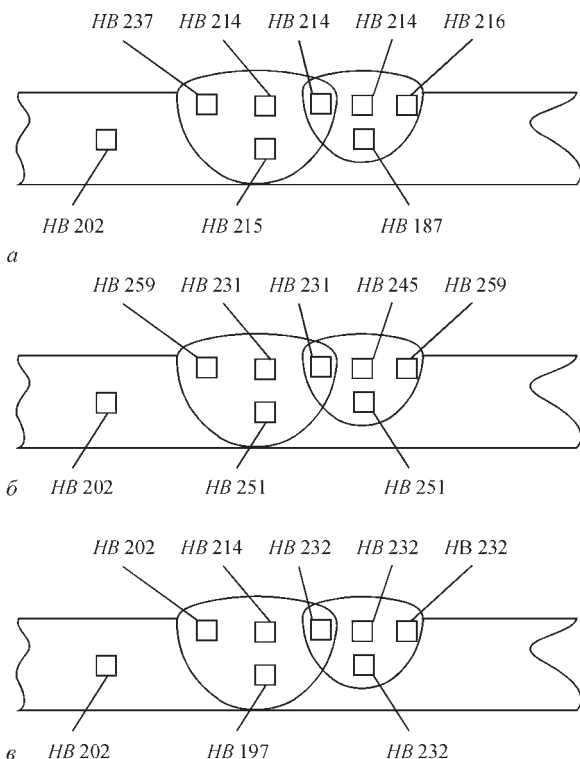


Рис. 3. Результаты измерения твердости металла, наплавленного с разными способами фиксации дополнительных материалов: а — локальное введение фуллерена; б — локальное введение смеси TiC + GF-021; в — сплошное введение TiC + GF-021

Таким образом, были установлены оптимальные параметры и удельные расходы материалов для максимального эффекта от наплавки с предварительной их фиксацией. Однако при данных условиях не происходит локализации зон повышенной твердости. Учитывая это, было проведено сравнение схем фиксации эмульсии TiC с грунтовкой GF-021 и в чистом виде. Для адекватности сравнения обеспечивались удельные расходы материала  $1,6 \cdot 10^{-2}$  г/мм.

Разницу воздействий способа фиксации на распределение твердости в сечении наплавленного металла при погонной энергии 1800 Дж/мм и удельных затратах  $1,6 \cdot 10^{-2}$  г/мм продемонстрировано на рис. 2.

Результаты измерения твердости в сечении наплавленного валика свидетельствуют о том, что локализации зоны упрочнения способствует фиксация материала с помощью GF-021. Добавление же суспензии TiC в чистом виде приводит к большему выгоранию материала. Наблюдается лишь незначительное повышение твердости в местах фиксации по сравнению с другими зонами.

Для сравнения эффекта от добавления фуллерена C<sub>60</sub> и TiC наплавлились образцы на параметрах режима, приведенных выше, при  $n = 0,8 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм. Измерения твердости обнаружили следующее ее распределение (рис. 3)

Как видно из рис. 3, наиболее существенное влияние на твердость наплавленного металла оказывает TiC. Локальное его внесение с фиксацией грунтовкой обеспечивает максимальный рост твердости в местах добавления. При сплошном внесении TiC и при введении волокон фуллерена C<sub>60</sub> наблюдаются более низкие значения твердости. Такой результат связан, очевидно, с выгоранием материалов. Таким образом, лучшей сохранности материала способствует предварительная фиксация материалов на периферии. Более эффективным материалом для повышения твердости металла является карбид титана.

Из наплавленных заготовок были изготовлены образцы для исследования микроструктуры. Анализ микроструктуры проводили на растровом электронном микроскопе Zeiss EVO50. Сравнивая строения валиков (рис. 4), наплавленных с предварительной фиксацией фуллерена грунтовкой (а), TiC в чистом виде (б) и со смесью TiC + GF-021 (в), можно сделать вывод, что наиболее существенно на структурных преобразованиях сказывается именно последний вариант предварительного внесения. Для металла, наплавленного с таким сочетанием, характерна мартенситная структура (в). В местах введения смеси карбида титана с грунтовкой наблюдаются более крупные

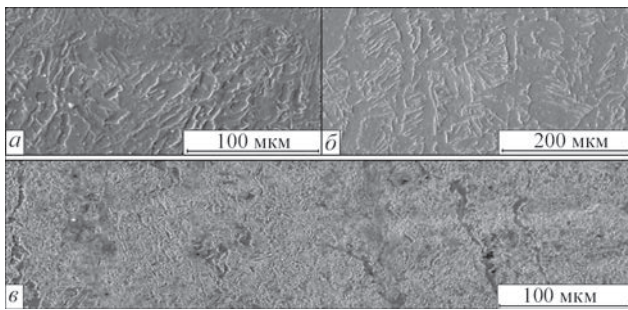


Рис. 4. Структура металла, наплавленного с локальным внесением: а —  $C_{60}$  + ГФ-021; б — TiC; в — TiC + ГФ-021

частицы карбидов, чем в случаях введения  $C_{60}$  + ГФ-021 (а) и TiC (б).

Карбидные включения максимального размера наблюдаются на краю валика (рис. 4, в).

Таким образом, указанное выше свидетельствует о том, что различные способы предварительной фиксации оказывают неодинаковое влияние на структуру и свойства наплавленного металла.

Спектр проблем, которые могут быть решены предварительным нанесением дополнительных материалов, не ограничивается только вопросами износостойкой наплавки. В перспективе такую схему представляется возможным опробовать при сварке разнородных сталей.

### Выводы

1. Установлено, что предварительная фиксация дополнительных материалов является эффективным методом дифференциации химического состава и свойств наплавленного металла в пределах отдельных валиков.

2. Учитывая показатели достигнутой твердости и ярко выраженную структурную и механическую неоднородность, наиболее эффективным является предварительное локальное внесение TiC с фиксацией грунтовкой ГФ-021. Это связано с защитным влиянием грунтовки и достигнутой локализацией зоны упрочнения.

3. Эффективность применения TiC + ГФ-021 в качестве дополнительного укрепляющего материала подтверждают полученные значения твердости: в месте внесения, при твердости основного металла HB 202, TiC позволяет повысить твердость на 57 ед. при удельных затратах карбида  $0,8 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм и на 100...150 ед. при  $1,6 \cdot 10^{-2}$  г/пог. мм. Это на 22 ед. выше, чем при фиксации грунтовкой фуллерена  $C_{60}$ .

### Список литературы

1. Шенфельд В.Й. (2014) Підвищення зносостійкості сталевих деталей наплавленням з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів: дис. ... канд. тех. наук. Вінниця, Вінницький національний технічний університет.
2. Перемитько В.В. (2014) Износостойкая наплавка по слою легирующей шихты. *Автоматическая сварка*, **8**, 56–59.

3. Перемитько В.В., Панфилов А.И. (2017) Дуговая наплавка слоев металла переменного состава и различной твердости. *Там же*, **7**, 48–52.
4. Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. (2015) Структура и свойства металла сварного шва, модифицированного наноксидами. *Там же*, **6-7**, 19–24.
5. Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. (2015) Износостойкая наплавка с вводом в сварочную ванну нанопорошков. *Там же*, **5 6**, 54–56.
6. (2017) Спосіб електродугового зварювання та наплавлення з введенням у зварювальну ванну наноконцентів, Україна, Пат. 116167, МПК В23/К 9/16, В23/К 9/18, В82Y40/00.
7. (2017) Спосіб електродугового зварювання та наплавлення з введенням у зварювальну ванну наноконцентів, Україна, Пат. 115309, МПК В23/К 9/16, В82Y40/00.
8. Лещинский Л.К., Гулаков С.В., Степнов К.К., Носовский Б.И. (1985) Валки с наплавленным слоем новой конструкции повышают эффективность работы прокатных станов. *Наплавка. Опыт и эффективность применения*. Гладкий П.В. (ред.), Киев, сс. 17–20.
9. Яриза-Стетенко А.В. (2012) Вдосконалення технології дугового наплавлення шару змінного хімічного складу легуванням його з флюсу: автореф. дис...канд. техн. наук. Краматорськ.
10. Рябцев И.А., Панфилов А.И., Бабинцев А.А. и др. (2015) Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов. *Автоматическая сварка*, **5 6**, 84–88.
11. Головки В.В., Кузнецов В.Д., Фомичов С.К., Лобода П.И. (2016) *Нанотехнології у зварюванні низьколегованих високоміцних сталей*. Київ, НТТУ «КПІ», Вид-во «Політехніка».

### References

1. Shenfeld, V.J. (2014) *Improvement of fatigue resistance of steel parts by surfacing using carbon fiber materials*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Vinnytsya, VNTU [in Ukrainian].
2. Peremitko, V.V. (2014) Wear-resistant arc surfacing over the layer of alloying charge. *The Paton Welding J.*, **8**, 54–57.
3. Peremitko, V.V., Panfilov, A.I. (2017) Arc surfacing of layers of metal of varying composition and hardness. *Ibid.*, **7**, 38–42.
4. Kuznetsov, V.D., Stepanov, D.V. (2015) Structure and properties of weld metal modified with nanooxides. *Ibid.*, **11**, 10–16.
5. Kuznetsov, V.D., Stepanov, D.V. (2015) Wear-resistant surfacing with feeding of nanopowders to weld pool. *Ibid.*, **5 6**, 47–51.
6. (2017) *Method of electric arc welding and surfacing with feeding of nanocomponents to weld pool*. Ukraine Pat. 116167, Int. Cl. B23/K 9/16, B23/K 9/18, B82Y40/00 [in Ukrainian].
7. (2017) *Method of electric arc welding and surfacing with feeding of nanocomponents to weld pool*. Ukraine Pat. 115309, Int. Cl. B23/K 9/16, B82Y40/00 [in Ukrainian].
8. Leshchinsky, L.K., Gulakov, S.V., Stepnov, K.K., Nosovsky, B.I. (1985) Rolls with deposited layer of new design improve the efficiency of mills operation. In: *Surfacing. Experience and efficiency of application*. Ed. by P.V. Gladky, Kiev, pp. 17–20 [in Russian].
9. Yariza-Stetsenko, A.V. (2012) *Improvement of arc surfacing technology of variable chemical composition by its alloying from flux*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Kramatorsk [in Ukrainian].
10. Ryabtsev, I.A., Panfilov, A.I., Babinets, A.A., Ryabtsev, I.I. et al. (2015) Structure and abrasive wear resistance of deposited metal hardened with carbides of different types. *The Paton Welding J.*, **5 6**, 78–82.
11. Golovko, V.V., Kuznetsov, V.D., Fomichov, S.K., Loboda, P.I. (2016) *Nanotechnologies in welding of low-alloy high-strength steels*. Kyiv, NTUU KPI, Politehnika [in Ukrainian].

## ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАНЕСЕННЯ ЛЕГУЮЧИХ ПОРОШКІВ НА СТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

В.В. Перемитько, І.В. Коломоєць, В.І. Сухомлин

Дніпровський державний технічний університет.

51918, м. Кам'янське, Дніпропетровська обл., вул. Дніпробудівельна, 2

Розглянуто ефективність використання різних схем попереднього нанесення легуючих порошків на структуру та твердість металу наплавленого дуговим методом. Встановлено оптимальні параметри процесу та питомі витрати додаткових (легуючих) матеріалів із попередньою їх фіксацією. Найбільші показники твердості наплавленого металу досягаються при локальному внесенні TiC з фіксацією ґрунтовкою ГФ-021. Бібліогр. 11, табл. 1, рис. 4.

*Ключові слова:* дугове наплавлення, легуючі порошки, схеми долегування, фіксація додаткових матеріалів, режими наплавлення, структура, твердість

## EFFECT OF PRELIMINARY APPLICATION OF ALLOYING POWDERS ON THE STRUCTURE AND HARDNESS OF DEPOSITED METAL

V.V. Peremitko, I.V. Kolomoets, V.I. Sukhomlin

Dniprovsk State Technical University, 2 Dneprostroevskaya Str., Kamenskoe, Dnepropetrovskaya region, Ukraine

Considered was efficiency of application of different schemes of additional alloying of deposited in arc process metal on change of its structure and hardness. The optimum parameters of the process and specific consumption of additional (alloying) materials with their preliminary fixing were determined. The highest indices of hardness of deposited metal are reached during local addition of TiC with fixation by GF-021 primer. 11 Ref., 1 tabl. 4 Fig.

*Keywords:* arc surfacing, alloying powders, additional alloying scheme, fixation of additional materials, surfacing mode, structure, hardness

Поступила в редакцію 31.05.2019

# XVIII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2019

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

19 - 22  
листопада

 МЕТАЛІВ-ВИБІВКА
  УКРЕЗАРЮВАННЯ
  ГІДРАВЛІКА ПІСЛОВАТКА
  ПІДШИВНИКИ
  УКРЕТОР
  УКРЕПТВО
  УКРЕПТА АУТОМАТИЗАЦІЯ
  ЗРАХКИ, СТАНДАРТИ ЕТАЛОНІ, ПРИЛАДИ
  ЛІЦЬОВИЙ-ТРАНСПОРТНЕ СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ
  БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА



ОРГАНІЗАТОР:

**Міжнародний виставковий центр**

Генеральний інформаційний партнер:



Ексклюзивний медіа партнер:

ЖУРНАЛ ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА

Технічний партнер:


**Міжнародний виставковий центр**  
Україна, 02002, Київ  
Броварський пр-т, 15  
М "Лівобережна"

☎ (044) 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58  
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua  
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр  
www.tech-expo.com.ua