

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ

О. О. Шаповал, С. В. Шлик, Т. Р. Сніщенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: shapoval_a@kdu.edu.ua

М. Л. Рудич

Світловодський політехнічний коледж Кіровоградського національного технічного університету
вул. Єгорова, 15, 27501 м. Світловодськ, Україна.

На основі виконаного системного критичного аналізу технологій виробництва композиційних матеріалів для електроплазмової техніки встановлено, що їх експлуатаційно-технологічні властивості визначаються станом контакту між компонентами, що деформуються в ході спільної пластичної деформації пресуванням і волочінням. Для випадку спільної пластичної деформації біметалічного композиту з твердим тугоплавким сердечником і більш м'якою оболонкою виконаний аналіз кінематичних силових параметрів, що показав, що пластичні зсуви в шарі оболонки еквівалентні зменшенню сил контактної тертя при пресуванні і волочінні; це істотно покращує умови деформування і створює умови для формування металургійного контакту між компонентами. Методами скануючої електронної та оптичної мікроскопії досліджено механізм формування металургійного контакту між компонентами біметалу. Встановлено, що введення а технологічну схему процесів ротаційного кування і гідродинамічного вводу мастила дозволяє сформувати більш щільний контакт в порівнянні з волочінням завдяки більш м'якій схемі напружено-деформованого стану металу в осередку деформації.

Ключові слова: електрод, біметал, осередок деформації, пресування, оболонка, з'єднання.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

А. А. Шаповал, С. В. Шлык, Т. Р. Сніщенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: shapoval_a@kdu.edu.ua

М. Л. Рудич

Светловодский политехнический колледж Кировоградского национального технического университета
ул. Егорова, 15, г. 27501 Светловодск, Украина. E-mail: misha-rudich@ukr.net

На основе выполненного системного критического анализа технологий производства композиционных материалов для электроплазменной техники установлено, что их эксплуатационно-технологические свойства определяются состоянием контакта между компонентами, деформируемыми в ходе совместной пластической деформации пресованием и волочением. Для случая совместной пластической деформации биметаллического композита с твердым тугоплавким сердечником и более мягкой оболочкой выполнен анализ кинематических силовых параметров, показавший, что пластические сдвиги в слое оболочки эквивалентны уменьшению сил контактного трения при пресовании и волочении; это существенно улучшает условия деформирования и создает условия для формирования металлургического контакта между компонентами. Методами сканирующей электронной и оптической микроскопии исследован механизм формирования металлургического контакта между компонентами биметалла. Установлено, что введение а технологическую схему процесса ротационнойковки позволяет сформировать более плотный контакт по сравнению с волочением благодаря более мягкой схеме напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации.

Ключевые слова: электрод, биметалл, очаг деформации, пресование, оболочка, соединение.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Продуктивність установок плазмової обробки металу, експлуатованих у складі автоматизованих комплексів, а також якість продукції значною мірою залежать від ресурсної стійкості електродів плазмотронів. Головною умовою, що визначає ресурсну стійкість, є стан контакту між активним елементом і корпусом електрода, залежно від способу їх з'єднання. Для підвищення ресурсної стійкості електродів шляхом забезпечення щільного контакту між компонентами доцільно використати при їх виготовленні композити у вигляді біметалевих дротиків і дрого, які отримані спільною пластичною деформацією осердя з тугоплавкого металу (активний елемент) і пластичної оболонки [1–3]. Роботи [4–6] показали високу ефективність застосування для виготовлення електродів композитів, у яких як осердя використані цирконієві

або гафній-цирконієві сплави, а оболонка виконана з цирконієвої бронзи.

Мета роботи – створення ефективної технології виробництва композиційних матеріалів на основі тугоплавких металів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Електрод включає корпус і запресований в нього активний елемент, який одержують шляхом порізки спеціального дроту-композиту системи «цирконієвий сплав-цирконієва бронза». Одною з важливих проблем є забезпечення надійного електричного контакту між складовими частинами композиту-тугоплавким сердечником з цирконієвого сплаву та оболонкою з цирконієвої бронзи. Цей так званий «металургійний» контакт забезпечується шляхом спільної пластичної деформації (пресування, волочіння) сердечника і оболонки.

Відомим технічним рішенням, яке забезпечує щільний контакт сердечника з оболонкою, є розміщення між ними проміжного шару з металу, що має міцність та пластичність, проміжні між відповідними характеристиками сердечника і оболонки. В нашому випадку спосіб виробництва електродів з цирконієвих сплавів передбачає використання композиційної заготовки під пластичну деформацію без проміжного шару, однак за умови деформування композиту в умовах різкого зниження коефіцієнту зовнішнього тертя при вібрації інструменту та гідродинамічній подачі мастила на контактні поверхні осередку деформації [7].

Виконано аналіз кінематичних та силових умов деформування композиту з м'якою оболонкою та більш твердим сердечником для випадку, коли на контактній поверхні осередку деформації має місце ковзання. На рис. 1 показано поле швидкостей на вході в осередок деформації при деформуванні композиту з твердим сердечником та більш м'якою оболонкою.

Компоненти швидкості в шарі оболонки:

$$V_r = -V_r(r, \theta); \quad V_\theta = -V_\lambda = 0.$$

Для визначення залежності швидкості V_r від координат використаємо рівняння нерозривності у вигляді $\partial(rV_r)/\partial r = 0$.

Його загальне рішення $V_r = \varphi(\theta)/r$.

Швидкості деформації

$$\varepsilon_r = \partial V_r / \partial r = -2\varphi(\theta)/r^2;$$

$$\varepsilon_{\theta r} = \varepsilon_{\lambda\lambda} = \varphi(\theta)/r^2;$$

$$\varepsilon_{r\theta} = -\varphi_1(\theta)/r^2.$$

Інтенсивність швидкостей деформації

$$\varepsilon_i = \sqrt{3\varphi^2(\theta) + \varphi_1^2(\theta)} / \sqrt{3} r^2.$$

Дотична напруга в шарі оболонки

$$\tau = \mu_i \varepsilon_{r\theta} = \sigma'_s \varphi_1(\theta) / \sqrt{3\varphi^2(\theta) + \varphi_1^2(\theta)} \cdot \sqrt{3}, \quad (1)$$

де σ'_s – напруга текучості матеріалу оболонки, яка приймається незалежною від координати r .

При визначенні функцій $\varphi(\theta), \varphi_1(\theta)$ швидкість ковзання виразимо через швидкість подачі композиту V_0 та коефіцієнт дотичної напруги m , величина якого може бути в межах від нуля (при повній відсутності контактної тертя) до одиниці (при повному прилипанню на контактній поверхні).

Таким чином граничною умовою для поверхні розділу оболонки з сердечником є:

$$r = r_0; \quad \theta = \theta_0; \quad V_r = -V_0.$$

При лінійному законі зміни швидкості по товщі оболонки одержимо:

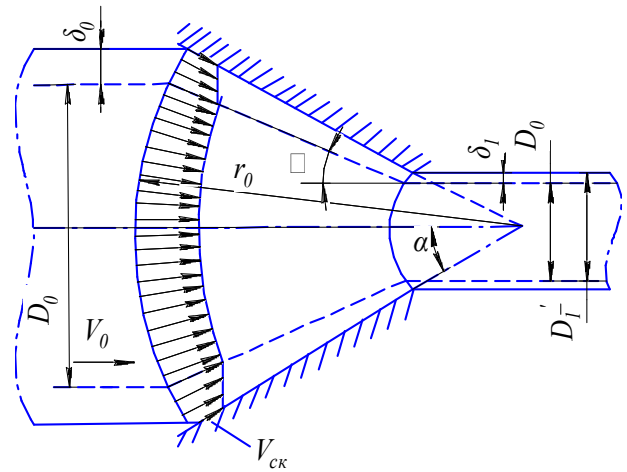


Рисунок 1 – Поле швидкостей на вході в осередок деформації

$$\varphi(\theta) = -2V_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{\alpha - \theta}{\alpha - \theta_0} \right) \right] r_0^2 / r.$$

Тоді у відповідності з (1)

$$\tau = m \sigma'_s / 12 \left[(\alpha - \theta_0)(1 - m) + (\alpha - \theta)m \right]^2 + m^2 \sqrt{3} \quad (2)$$

Ця формула враховує, разом з характеристикою міцності і відносною товщиною оболонки $\delta/V_0 \approx \alpha - \theta_0$, також умови ковзання на контактній поверхні-через коефіцієнт m .

Напругу тертя на контакті визначимо з (2), прийнявши $\theta = \alpha$:

$$\tau_k = m \sigma'_s / \sqrt{12(\alpha - \theta_0)^2 (1 - m)^2 + m^2 \sqrt{3}}$$

Дотичну напругу на межі розділу одержимо з (2), прийнявши $\theta = \theta_0$:

$$\tau_1 = m \sigma'_s / \sqrt{12(\alpha - \theta_0)^2 + m^2 \sqrt{3}},$$

Таким чином, при $m \neq 0$ $\tau_k < \tau_1$.

Це дозволяє зробити висновок, що пластичні зсуви в шарі м'якої оболонки еквівалентні зменшенню сил контактної тертя при пресуванні та волочінні.

Оскільки $m = f' \sqrt{3}$, де $f' = \tau_k / \sigma'_s$ – коефіцієнт контактної тертя, то значення коефіцієнту контактної тертя при пресуванні повинні бути більшими, чим при волочінні.

Виконаний аналіз привів до висновку, що застосування в композиті більш м'якої оболонки відносно сердечника суттєво покращує умови деформування композиту пресуванням та волочінням.

Розроблена технологічна схема одержання композитів [8–9] включає операції виготовлення складеної заготовки (сердечник-цирконієвий сплав 110, оболонка-цирконієва бронза БрЦр 0,1); гаряче пресування складеної заготовки на біметалевий пруток діаметром 16 мм; вібраційне волочіння прутка до діаметра 2,5 мм; гідродинамічне волочіння біметалевого дроту до діаметра 1 мм.

З метою дослідження впливу схеми деформування на якість контакту між сердечником та оболонкою, в технологічній схемі як варіант було задіяно процес ротаційного кування. Відтак в діапазоні діаметрів 2,5-1 мм деформування біметалу велось за двома схемами: за схемою «А» – ротаційне кування до діаметра 1,8 мм і гідродинамічне волочіння на кінцевий діаметр; за схемою «Б» – виключно гідродинамічне волочіння.

Матеріали вихідних компонентів складеної заготовки мали нижче приведені хімічний склад (мас. %). Цирконієва бронза оболонки: Zr-0,06-0,15; домішок-не більше 0,1; Cu-останнє. Сплав 110 сердечника: Nb-1,1; Al- $8 \cdot 10^{-3}$; N- $6 \cdot 10^{-3}$; C- $2 \cdot 10^{-3}$; Zr-останнє.

Співвідношення між діаметрами оболонки та сердечника складеної заготовки визначають, керуючись конструкцією електродів плазмотронів. При цьому прийнятий діаметр складеної заготовки (85 мм) визначено виходячи з технологічних міркувань-можливостей пресу гарячого пресування. Діаметр d_0 сердечника складеної заготовки визначено через витяжку μ складеної заготовки при деформації її на кінцевий композит діаметром 1 мм (табл. 1). Виходячи з заданого діаметру d_1 сердечника в кінцевому композиті знайдено $d_0 = d_1 \sqrt{\mu} \cong 66$ мм. При виготовленні складеної заготовки фактичний діаметр сердечника було прийнято рівним обчисленому.

Згідно технологічної схеми були виготовлені складена заготовка та композити з неї фактичними діаметрами 2,5 мм; 1,02 мм (схема «А»); 1,03 мм (схема «Б»). Металографічним шляхом були визначені фактичні діаметри сердечника в композитах, рис. 2.

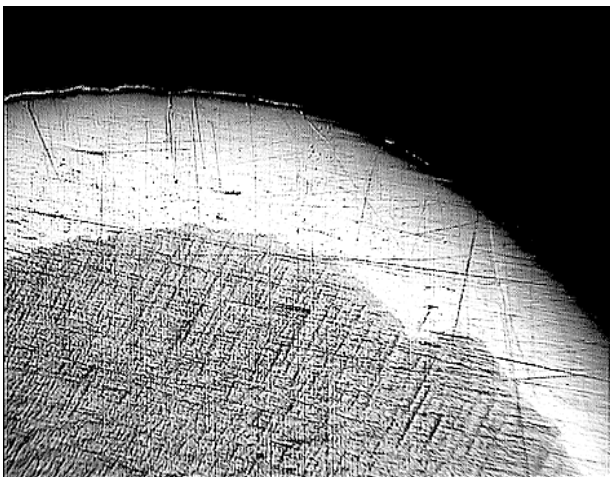


Рисунок 2 – Металографічне визначення фактичного діаметра сердечника та товщини оболонки в композиті

Дані обчислень діаметрів сердечника та вимірів їх на металографічних шліфах під мікроскопом приведені в табл. 1. Потрібну для одержання композиту з бажаним діаметром сердечника загальну деформа-

цію складеної заготовки можливо визначити з задовільною точністю шляхом розрахунку.

Таблиця 1 – Обчислені та фактичні значення діаметру сердечника в композитах

Складена заготовка-композит		Сердечник, Ø, мм	
Композит фактич. Ø мм	Коефіцієнт витяжки	Обчислений	Фактичний
85	1	66,02	66,00
2,5	1158,1	1,94	1,93
1,02 «А»	6944,44	0,8	0,82
1,03 «Б»	6810,25	0,8	0,83

Для реалізації удосконаленої технологічної схеми підібрано комплекс промислового технологічного обладнання. В конструкцію станів для одержання композитів закладені високопродуктивні технологічні процеси вібраційного деформування та гідродинамічного волочіння [10–12]. В табл. 2 приведені технічні характеристики розробленого обладнання, яке задіяне в промисловому виробництві електродних композитів.

На станах ВДУ-П та ЗК-1,6-26 реалізується процес вібраційного волочіння композиту через дві волокни, яким надаються коливання низької частоти (50 Гц) в протилежних фазах [13]. Завдяки цьому в 1,8-2 рази збільшується витяжка композиту за перехід, відповідно зростають продуктивність процесу і вихід готової продукції.

На стані 1/550М-ГД при виробництві біметалевих композитів реалізовано комбінований процес гідродинамічного волочіння з накладенням на волочильний інструмент вібрації в початковий період розгону приводу волочильного стану. Це знімає початковий пік сили волочіння. При подальшому зростанні швидкості волочіння і досягненні рідинного режиму тертя на контактних поверхнях осередку деформації вібрацію волочильного інструменту знімають. Це дає можливість збільшити витяжку композиту до 1,4–1,45 за перехід при забезпеченні необхідного коефіцієнту запасу міцності металу при волочінні.

В ході роботи на описаному комплексі технологічного обладнання були одержані промислові партії композитів для виготовлення з них активних елементів електродів плазмотронів. Враховуючи велику потребу в електродах для сили робочого струму від 400 до 100А, виготовлені композити діаметром 2,5; 1,46; 1,4; 1,3; 1,25; 1 мм.

Зважаючи на те, що за формування щільного контакту між сердечником та оболонкою відповідальними є кінцеві технологічні операції деформування, в діапазоні діаметрів 2,5–1 мм було виконане дослідження еволюції мікроструктури, хімічного складу та поверхні металу в перехідній зоні між сердечником та оболонкою, в ході обробки.

Для того, щоб встановити закономірності деформування «металургійного» контакту в ході деформування композиту, в цих дослідках було використано композити всього ряду діаметрів.

Таблиця 2 – Технічні характеристики технологічного обладнання

Діаметри композиту згідно схеми, мм	Назва технологічного обладнання	Тип (марка)	Характеристики				
			Робоче зусилля, кН	Витяжка металу за перехід	Швидкість деформування, м/с	Встановлена потужність, кВт	Температура нагрівання, К
85-16	Гідравлічний прес	П459	630	20-50	0,02	17	1773
16-9,5	Стан вібраційного деформування	ВДУ-П	50	1,1-1,3	0,05-0,2	14,2	1573
9,5-2,5	Ланцюговий волочільний стан	ЗК-1,6-26	16	1,1-1,3	0,12	16	1373
2,5-1,8 схема «А»	Ротаційно-кувальна машина	ІМ-116	20 (в імпульсі)	1,1-1,2	0,1	8,75	1373
2,5-1 схема «Б»	Стан гідродинамічного волочіння	1/550М-ГД	5	1,2-1,45	1,65	7,1	Без нагрівання

В зразках композиту в діапазоні діаметрів 2,5–1,8 мм в перехідній зоні виявлені ділянки шириною до 1,5 мкм, де контакт відсутній. В процесі деформації композиту до діаметру 1 мм ці ділянки закриваються, залишаються лише невеликі мікропори [14]. Таким чином, існує певна загальна деформація композиту, яка забезпечує «металургійний» контакт між компонентами біметалу, рис. 3.

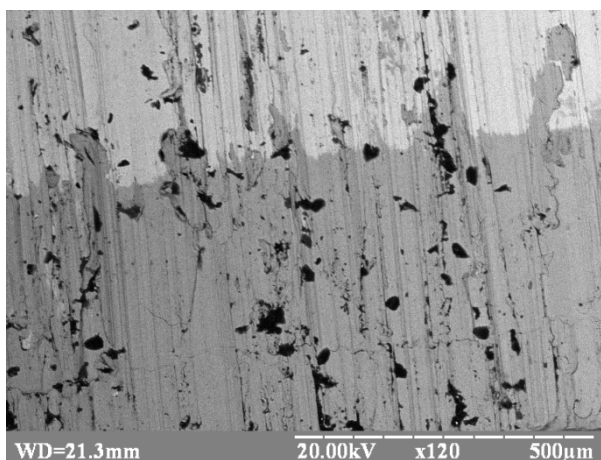


Рисунок 3 – Структура контактної зони біметалевого дроту

Порівняння мікроструктур перехідної зони в композитах, одержаних за схемами «А» і «Б», свідчить про благотворний вплив ротаційного кування в завершальній стадії деформації композиту на формування щільного, без пор, контакту між сердечником та оболонкою. Це обумовлено більш «м'якою» схемою напружено-деформованого стану металу при ротаційному куванні в порівнянні з волочінням [15, 16].

Результати металографічного дослідження перехідної зони в композитах, одержаних за схемою «А» і «Б», корелюються з даними експлуатаційних випробувань: композити за схемою «А» мали в елект-

родах в 1,3–1,8 рази більший ресурс, чим композити, одержані за схемою «Б».

Поверхня композиту, одержаного за схемою «А», є менш фрагментованою в порівнянні зі схемою «Б», що підтверджує результати металографічних досліджень. Твердість сердечника композиту, одержаного за схемою «А», дещо більша в порівнянні зі схемою «Б», що зумовлено особливостями розвитку текстури при ротаційному куванні та відповідно волочінні.

З композитів діаметром 2,5–1 мм виробляються активні елементи для електродів плазмотронів плазмового різання та плазмово-механічної обробки металів. Електроди одержують шляхом виготовлення корпусу з міді не нижче М-2 та запресовки в нього елемента, одержаного порізкою композиту на мірні довжини. Електроди експлуатують в наступних умовах:

- рід струму – постійний;
- робочий діапазон струму, А – 100–400 при ПВ = 100 %;
- плазмостворюючий газ-кисень, повітря;
- охолодження – примусове водянє, 5 л/хв;
- кліматичне виконання – УХЛ по ГОСТ 15150.

Можливе виготовлення електродів шляхом їх штамповки безпосередньо з відрізків композиту. В цьому випадку діаметр оболонки приймають за умови формування з об'єму оболонки корпусу електрода.

ВИСНОВКИ. В результаті роботи досліджена і удосконалена промислова технологія одержання біметалевих композитів «цирконієвий сплав-цирконієва бронза», призначених для виготовлення активних елементів електродів плазмотронів на робочий струм 100–400 А.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень інтенсивних процесів вібраційного і гідродинамічного волочіння удосконалена, обґрунтована експериментально, апаратно оформлена і реалізована в промислових масштабах тех-

нологічна схема виробництва біметалевих композитів системи «цирконієвий або гафній-цирконієве осердя – оболонка з цирконієвої бронзи». Схема передбачає гаряче пресування складеної заготовки на біметалічний пруток і подальше волочіння з проміжними відпалами із застосуванням вібрації волок і гідродинамічним введенням мастила.

ЛІТЕРАТУРА

1. Драгобецький В. В., Шаповал О. О., Щепетов В. В. та ін. Керовані ефекти пластичного деформування заготовок виробів для металургії та транспорту: монографія. Харків: «Друкарня Мадрид», 2017. 244 с.
2. Шаповал А. Н., Горбатюк С. М., Шаповал А. А. Интенсивные процессы обработки давлением вольфрама и молибдена: монография. Москва: Издательский дом «Руда и металлы», 2006, 352 с.
3. Шаповал А. А. Исследование технологии производства активных элементов электродов плазмотронов из композитов на основе циркония. *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. Краматорск : ДГМА, 2013. №2(35). С. 236–240.
4. Kukhar V., Kurpe O., Klimov E., Balalayeva E., Dragobetskii V. Improvement of the method for calculating the metal temperature loss on a Coilbox unit at the rolling on hotstrip mills. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 2018, Vol. 7(4), pp. 35–39. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19548.
5. Шаповал А. Н., Шаповал А. А. Разработка устройства для многоступенчатого вибрационного волочения металла. *Цветные металлы*, 2012, №. 4, С. 77–82.
6. Драгобецький В. В., Шаповал А. А., Савелов Д. В., Маркевич А. Г. Опытнo-промышленный стан для бесконтейнерного вибрационного прессования вольфрамовых и молибденовых прутков. *Обработка металлов давлением. Сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2012. Вып. № 4(33). С. 257–261.
7. Maslov O., Janar Batsaikhan, Salenko Yu. The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, Vol. 7(3.2), pp. 239–244.
8. Маслов А. Г., Жанар Батсайхан. Теоретические исследования взаимодействия плоскостного глубинного виброуплотнителя с бетонной смесью. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2018. Вип. 2(109), част. 1. С. 48–53.
9. Dragobetskii V., Zagirnyak M., Naumova O., Shlyk S., Shapoval A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018, Vol. 7(4), pp. 92–99. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558
10. Maslov A., Janar Batsaikhan, Puzyr R, Salenko Yu. The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7(4.3), pp 12–19.
11. Шаповал А. А. Особенности термоциклического отжига вольфрамовых заготовок, полученных поперечно-винтовой прокаткой. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського»*, Вип. 6/2010 (65), Ч.1, С. 92–93
12. Шаповал А. А. Применение высокопроизводительных процессов деформирования при производстве вольфрамовых лент. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2011. Вип. 2(67), част.1. С. 65–67.
13. Шаповал А. А., Маркевич А. Г., Моспан Д. В. Комбинированные процессы бесконтейнерного прессования и вибрационного волочения при обработке малопластичных труднодеформируемых металлов. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2013. № 42 (1015). С. 210–217.
14. Dragobetskii V., Shapoval A., Naumova E. & all. The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of The High – Voltage Plants. *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 2017 pp. 400–403. doi: 10.1109/MEES.2017.8248944
15. Gorbatyuk, S. M., Shapoval, A.A., Mos'pan, D. V., Dragobetskii V.V. Production of Periodic Bars by Vibrational Drawing. *Steel in Translation*, 2016, Vol. 46, No. 7, pp. 474–478. © Allerton Press, Inc. doi: 10.3103/S096709121607007X
16. Dragobetskii, V., Zagirnyak, V., Shlyk, S., Shapoval, A., Naumova, O. Application of explosion treatment methods for production items of powder materials [Zastosowanie metod eksplozyjnych do produkcji sproszkowanych materiałow] (2019) *Przegląd Elektrotechniczny*, 95 (5), pp. 39–42. DOI: 10.15199/48.2019.05.10

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES OF PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON REFRIGERANT METALS

A. Shapoval, S. Shlyk, T. Snishchenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
vul.Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: shapoval_a@kdu.edu.ua

M. Rudych

Svetlovodsk Polytechnic College of Kirovohrad National Technical University
vul.Yegorova, 15, Svetlovodsk, 27501, Ukraine.

Purpose. Improving the highly efficient technology for the production of composite materials based on zirconium, zirconium-hafnium-zirconium bronze for the production of thermochemical plasma cutting electrodes. **Methodology.** Based on a systematic critical analysis of the production technologies for composite materials for electroplasma technology, it was found that their operational and technological properties are determined by the state of contact between components that are deformed during joint plastic deformation by pressing and drawing. For the case of joint plastic

deformation of a bimetallic composite with a hard refractory core and softer shell, an analysis of kinematic force parameters was performed, which showed that plastic shears in the shell layer are equivalent to a decrease in contact friction forces during pressing and drawing; this significantly improves the conditions of deformation and creates conditions for the formation of metallurgical contact between the components. Theoretically, the velocity field in the deformation zone, the components of the strain rates in the shell layer, the boundary conditions for the interface between the soft shell and the refractory core, and the components of the friction forces are determined. The performed analysis led to the conclusion that the use of a softer shell relative to the core in the composite significantly improves the conditions of composite deformation by pressing and drawing. **Results.** Based on the kinematic analysis, the law of the change in the stress-strain state in the deformation zone during the processes of hot pressing, vibration drawing and hydrodynamic input of the lubricant is established. Using microstructural analysis of the obtained composite materials, the optimal operating modes of the equipment were determined, as well as the technological parameters: heating temperature of the workpieces, compression ratio, drawing coefficients, number of transitions. **Originality.** An improved technology for the production of composite materials based on refractory metals has allowed us to master the production of thermochemical electrodes for plasma cutting systems with technical characteristics that exceed the best world analogues in terms of price-quality. **Practical.** The results can be implemented at metallurgical and engineering enterprises in the production of composite materials based on refractory metals.

Keywords: electrode, bimetal, deformation zone, pressing, shell, connection.

REFERENCES

1. Dragobekij, V. V., Shapoval, O. O., Shepoto, V. V. (2017), *Kerovani efekti plastichnogo deformuvannya zagotovok virobiv dlja metalurgii ta transportu: monografija*, Harkiv: «Drukarnja Madrid», 244 p.
2. Shapoval, A. N., Gorbatjuk, S. M., Shapoval, A. A. (2006), *Intensivnye processy obrabotki davleniem vol'-frama i molibdena: monografija*, Moskva: Izdatel'skij dom «Ruda i metally», 352 p.
3. Shapoval, A. A. (2013), Issledovanie tehnologii proizvodstva aktivnyh elementov elektrodov plazmotronov iz kompozitov na osnove cirkonija, *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, No 2(35)*, pp. 236–240.
4. Kukhar, V., Kurpe, O., Klimov, E., Balalayeva, E., Dragobetskii, V. (2018), Improvement of the method for calculating the metal temperature loss on a Coilbox unit at the rolling on hot strip mills, *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, Vol. 7(4), pp. 35–39. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19548.
5. Shapoval, A.N., Shapoval, A.A. (2002), Development of The Unit for Multi-Stage Vibration Drawing of Metal Product, *Tsvetnye Metally*, 4, pp. 77–82.
6. Dragobetskii, V.V., Shapoval, A.A., Savelov, D.V., Markevich, A.G. (2012), Opytno-promyshlennyj stan dlja beskontejnogo vibracionnogo pressovanija vol'framovyh i molibdenovyh prutkov, *Obrabotka metallov davleniem. Sbornik nauchnyh trudov*, Kramatorsk: DGMA, No 4 (33), pp. 257–261.
7. Maslov, O., Janar, Batsaikhan, Salenko, Yu (2018), The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (3.2), pp 239–244.
8. Maslov, A. G. Zhanar, Batsaikhan (2018), "Theoretical studies of the interaction of planar deep vibroplates with concrete mixture", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University. Kremenchug: KRNU, Issue (109)*, pp. 48–53.
9. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. (2018), Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles, *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, Vol. 7(4), pp. 92–99. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558
10. Maslov, A., Janar, Batsaikhan, Puzyr, R, Salenko, Yu (2018), The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (4.3), pp. 12–19.
11. Shapoval, A. A. (2010) Osobennosti termociklicheskogo otzhiga vol'framovyh zagotovok, poluchennyh poperechno-vintovoj prokatkoj, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 6/ 65, part 1, pp. 92–93.
12. Shapoval, A. A. (2011), Primenenie vysokoproizvoditel'nyh processov deformirovanija pri proizvodstve vol'framovyh lent, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 2(67), part 1, pp. 65–67.
13. Shapoval, A. A., Markevich, A. G., Mos'pan, D. V. (2013), Kombinirovannye processy beskontejnogo pressovanija i vibracionnogo volochenija pri obrabotke maloplastichnyh trudodeformiruemym metallov, *Visnik NTU «HPI»*, Vol. 42 (1015), pp. 210–217.
14. Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, E. (2017), The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of The High – Voltage Plants, *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, pp. 400–403. doi: 10.1109/MEES.2017.8248944
15. Gorbatyuk, S. M., Shapoval, A. A., Mos'pan, D. V., Dragobetskii V. V. (2016), Production of Periodic Bars by Vibrational Drawing. *Steel in Translation*, Vol. 46, No. 7, pp. 474–478.
16. Dragobetskii, V., Zagirnyak, V., Shlyk, S., Shapoval, A., Naumova, O. Application of explosion treatment methods for production items of powder materials [Zastosowanie metod eksplozyjnych do produkcji sproszkowanych materiaiw] (2019) *Przeglad Elektrotechniczny*, 95 (5), pp. 39–42. DOI: 10.15199/48.2019.05.10

Стаття надійшла 09.12.2019.