



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-111-117>
УДК 534.2

Поступила 14.04.2022
Received 14.04.2022

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ СВАРНОЙ ЗОНЫ В РЕЖИМЕ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКАНИЯ

Ю. С. УШЕРЕНКО, С. М. УШЕРЕНКО, А. Л. ТАРАСЕВИЧ, А. Н. ПАНЬКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: usherenko@gmail.com

Показана возможность синтеза химических элементов в рамках методики сверхглубокого проникания (СГП). При движении в закрытой системе сварочной зоны сгустков микрочастиц при термоядерном синтезе генерируется дополнительная энергия. Формируются волокна (каналы), легированные синтезированными материалами. Энергия электрического поля при этом многократно превышает энергию сгустка, используемую для его разгона.

Ключевые слова. Сверхглубокое проникание (СГП), зона сварки, синтез и накопление редких химических элементов.

Для цитирования. Ушеренко, Ю. С. Модификация материалов сварной зоны в режиме сверхглубокого проникания / Ю. С. Ушеренко, С. М. Ушеренко, А. Л. Тарасевич, А. Н. Панько // Литье и металлургия. 2022. № 2. С. 111–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-111-117>.

MODIFICATION OF THE MATERIALS OF THE WELDED ZONE IN THE ULTRA-DEEP PENETRATION MODE

Yu. S. USHERENKO, S. M. USHERENKO, A. L. TARASEVICH, A. N. PANKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: usherenko@gmail.com

The possibility of chemical elements fusion within the framework of the ultra-deep penetration technique is shown. When microparticle clots move in a closed welding zone system, additional energy is generated during thermonuclear fusion. Fibers (channels) doped with synthesized materials are formed. The energy of the electric field in this case is many times higher than the energy of the clot used to disperse it.

Keywords. Ultra-deep penetration, welding zone, fusion and accumulation of rare chemical elements.

For citation. Usherenko Yu. S., Usherenko S. M., Tarasevich A. L., Panko A. N. Modification of the materials of the welded zone in the ultra-deep penetration mode. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 2, pp. 111–117. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-111-117>.

Создание композиционных материалов часто выполняют за счет электрической сварки режущего элемента с корпусом державки. Такой вариант изготовления инструмента оценивается как традиционный. Различные варианты металлообработки направлены на последовательное изменение уровня физико-механических свойств. Одним из современным вариантов повышения уровня механических свойств является прошивка объемов стальной заготовки сгустками пылевых частиц (размеры менее 100 мкм) [1]. Специфическая особенность сверхглубокого проникания (СГП) сгустков микрочастиц в объем твердого тела заключается в скачкообразном падении сопротивления прониканию ударников [2].

Использование высокоэнергетических источников энергии позволяет реализовать возможность синтеза новых химических элементов. В зоне сварки металлических материалов (зоны плавления с измененным уровнем свойств) возможно создание новых металлических композитов. Внимание к аномалиям синтеза новых химических элементов акцентируется на изменении импульсов давления. В современных условиях эффекты слипания ядер атомов превратились в эффективный инструмент создания новых материалов. Такой подход позволяет создать новые варианты процесса динамического массопереноса и синтеза изотопов и химических элементов, например, в зонах сварки.

Основы процесса соединения двух разных металлов

В условиях высокоэнергетического воздействия продукты, создаваемые в зоне сварки, могут найти широкое применение в промышленности. Сварка позволяет создавать неразъемные соединения при

наличии межатомных связей между соединяемыми частями. Всякое твердое или жидкое тело представляет собой систему атомов, ионов или молекул, связанных между собой внутренними силами притяжения.

В зону сварки энергию вводят различными способами: в виде теплоты (термическая активация); в виде упругопластической деформации (механическая активация); в виде электронного или ионного облучения (радиационная активация).

Возрастает роль связей между отдельными кристаллами (межкристаллитных связей). Соединяемые металлы практически не растворяются друг в друге (железо – свинец, железо – магний). При этом связи могут устанавливаться по границам кристаллов.

Сварка представляет собой технологический процесс получения монолитных неразъемных соединений посредством установления внутренних межчастичных (межатомных, межионных и межмолекулярных) связей.

Генерация энергии

Применение импульсных технологий позволяет в короткие сроки с приемлемыми затратами энергии решать многие технологические проблемы, возникающие при создании новой техники. Взрывы, происходящие в результате выделения внутриядерной энергии при делении ядер тяжелых элементов, называются ядерными, а при синтезе (слипании) ядер химических элементов – термоядерными. При термоядерных реакциях синтеза, в том числе при режиме СГП, генерируются очень большие величины энергии.

Процесс прошивки (упрочнение и легирование сгустками порошковых частиц и синтезируемых химических элементов) стабильно реализуется в режиме сверхглубокого проникания (СГП). Всякое твердое тело представляет собой систему атомов, ионов или молекул, связанных между собой внутренними силами притяжения и отталкивания.

Прошивка стали сгустками порошковых микрочастиц Pb

В качестве материала-маркера для анализа динамического процесса прошивки стали можно рекомендовать сгустки свинцовых микрочастиц. В исходной стали свинец отсутствует (рис. 1, табл. 1).

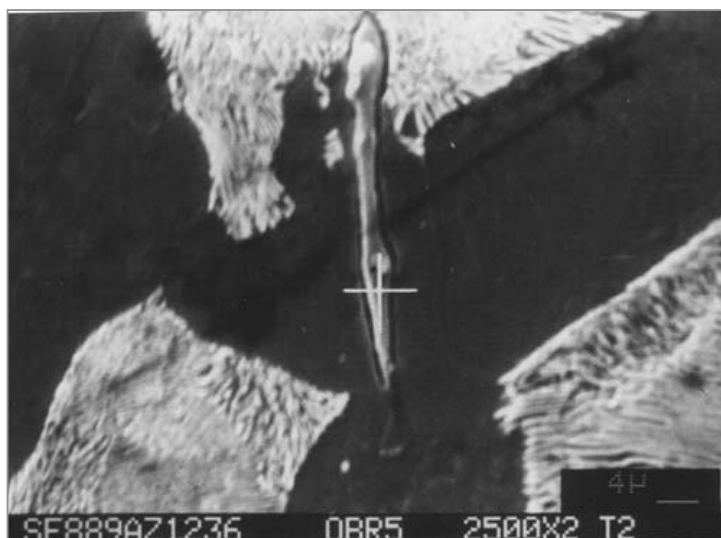


Рис. 1. Прошивка конструкционной стали (сталь 40) сгустком свинцовых микрочастиц

Таблица 1. Анализы синтезированного материала каркаса в железе СГП (Pb→Fe)

Номер точки	Fe	Al	Mn	Cu	Pb
T2	28,61	13,99	39,17	0,55	17,68
T3	48,77	0,00	32,22	0,28	19,03
T4	43,32	0,03	40,00	0,54	16,11

В рамках экспериментальных исследований, например, конструкция композиционного материала состояла из инструментальной стали 110Г13, прикрепленной через зону сварки к стали 10. В состоянии сборки композиционный инструмент был прошит сгустками микрочастиц SiC + Cu. Первичный контроль выполняли за мерами твердости.

Изменение твердости сварной конструкции: сталь 110Г13 – сталь 10**Образец № 1.**

Верхняя зона. Сталь 110Г13. Твердость в этой зоне – 438 HV.

Зона электросварки. Сталь 110Г13л – сталь 10 после СГП (2-кратная динамическая обработка – SiC + Cu).

Средняя зона. Твердость в этой зоне – 328,1 HV.

Нижняя сторона держателя. Сталь 10. Усредненная твердость – 260 HV.

Твердость в зоне сварки уменьшилась на 10,1 %.

После 2-кратной обработки скачок твердости составил 1,55 раза (55 %).

Образец № 2.

Однократная обработка в режиме СГП – SiC + Cu.

Сталь 110Г13л – верхняя часть – 304,9 HV.

Сталь 110Г13л + сталь 10 после СГП (1 раз) SiC + Cu.

Зона сварки (электросварка): 110Г13л – сталь 10.

Твердость средней зоны – усредненное значение – 286,33 HV.

Твердость зоны сварки снизилась на 11,7 HV или на 3,93 %.

Край со стороны держателя (сталь 10). Усредненное значение (внизу) – 267,5 HV.

После однократной обработки в режиме СГП в стали 110Г13л.

Усредненное значение твердости – 304,9 HV.

После однократной обработки в режиме СГП в стали 110Г13л до твердости 304,9 HV, т.е. скачок твердости в 1,07 раза или на 7 %.

Образец № 3.

Сталь 110Г13л. Исходная твердость сварной конструкции. Усредненное значение – 282,5 HV.

Сталь 110Г13л + сталь 10 не были прошиты в режиме СГП.

Зона сварки: сталь 110Г13л – сталь 10. Зона сварки образцов.

Усредненное значение зоны сварки – 298,03 HV.

За счет выполнения электрической сварки было зарегистрировано повышение твердости на 5,5 %.

Край со стороны держателя (сталь 10). Усреднение – 281,1 HV.

Без прошивки ступками порошков в 110Г13л исходная твердость достигла 282,5 HV. Таким образом, было выполнено сравнение изменений по твердости в объеме стали 110Г13л без обработки в режиме СГП.

Эффекты сверхглубокого проникания (СГП)

Новые варианты технологии оказались возможными при использовании необычных эффектов. Использовали комбинации известных операций. Для создания новой технологии нужно сформировать комплексную картину рассматриваемых физико-химических эффектов и технологических операций. Следует рассмотреть причинно-следственные связи при управлении этими эффектами. Процесс «сверхглубокого» проникания известен относительно недавно (с 1973 г.). В его основе оказываются особенности технологии формирования волоконных композиционных материалов [4].

К эффектам СГП относят результаты взаимодействия пылевых ступков с твердой металлической матрицей. В природных условиях соударения пылевых ступков с твердыми телами в основном реализуются в космическом пространстве. Результаты таких динамических воздействий стали известны только в конце прошлого века. Ступки микрочастиц двигаются внутри преграды на глубину в десятки и сотни миллиметров, что приводит к возникновению в ней электрических зарядов. Такое перемещение в металлическом твердом теле электрических зарядов формирует в окружающем пространстве электромагнитные поля. Излишки генерируемой энергии при таком проникании (СГП) металлические преграды излучают в свободное пространство. Вещество пульсирует внутри твердого тела в форме так называемых «солитонов» высокого давления [1]. Пульсациями металлической преграды, в которой создаются зональные каналы, генерируются интенсивные динамические нагрузки.

**Металлические преграды, преобразованные
в формы армированных волоконных композиционных материалов**

В объеме твердого тела в режиме СГП синтезируются волокна из химических соединений между элементами ступков микрочастиц и материалом массивной преграды. Материалы таких волокон

синтезируются в закрытой системе за счет процессов синтеза. Процессы синтеза сопровождаются импульсным характером генерации энергии, т.е. носят взрывной характер высокой интенсивности. Создаваемые структурные элементы, как правило, упрочняют стальную заготовку.

Были зафиксированы изменения химического состава упрочненных волокон и зон в стальной преграде, которые возникали при прошивке матрицы микрочастицами из легкоплавких металлов. Например, в качестве рабочего вещества использовали частицы свинца (Pb) и олова (Sn). Использование Pb и Sn для насыщения низколегированной стали было основано на том, что в этих экспериментах они являются маркерами. Как правило, в исходных сталях свинец и олово отсутствуют. При традиционных вариантах обработки химические элементы свинец и железо в динамике не взаимодействуют между собой. Выполненный анализ позволил установить, что низколегированная сталь может быть легирована марганцем (Mn) до 45 мас. %. В исходной матричной стали (сталь 45) концентрация марганца была меньше десятой доли процента. За счет эффектов сверхглубокого проникания были реализованы процессы синтеза изотопов железа (Fe^{55}) или марганца (Mn^{55}) [3].

Известно, что железо (химический элемент) является основным компонентом для изготовления сталей. Полученные экспериментальные результаты с высокой степенью вероятности показывают, что в зоне канального структурного элемента могут быть синтезированы «изотопы» железа (рис. 1).

На примере стальной матрицы, прошитой сгустком свинцовых частиц, было показано формирование волоконного материала на основе железа и свинца. В обычных условиях свинец и железо не взаимодействуют между собой. Только использование масс-спектрометра позволило однозначно установить, что добавочный легирующий элемент – это изотопы Fe^{55} или Mn^{55} [3]. Основным исходным матричным материалом было железо, но с высокой степенью вероятности установлено, что в армирующих волокнах присутствует изотоп железа. Сталь марки Р6М5 была обработана сгустками частиц на основе карбида кремния, что позволяет создавать упрочненный стальной инструмент.

Объем легированной стали оказался насыщенным изотопами железа и марганца. Синтез произведен в процессе высокоэнергетической обработки. Прочность стали достигла величины 7–11 ГПа. Такой результат, по-видимому, можно объяснить высоким уровнем свойств лигатуры. Механические свойства изотопа железа (Fe^{55}) близки к свойствам марганца (Mn^{55}).

Инструментальные стали, прошитые сгустками частиц карбида кремния (менее 100 мкм), также перестраиваются в композиционный стальной материал. В ряде вариантов инструментальная сталь Р6М5 была обработана сгустками частиц на основе карбида кремния, что также позволяло создавать упрочненный стальной инструмент.

Армирующий каркас состоит из легирующих изотопов железа и волокон из карбида кремния, а также интенсивно деформированной стальной матрицы. Благодаря высокой концентрации изотопа железа в волокнах их прочность (7–11 ГПа) можно объяснить за счет свойств легированного материала. Очевидно, механические свойства Fe^{55} близки к свойствам идеальных кристаллов марганца.

Регистрация остаточной радиоактивности в стали

Синтез химических элементов в объеме стали 10 в режиме сверхглубокого проникания. Сгустки микрочастиц свинца проникали на глубину более 100 мм (рис. 2, табл. 2). Такое проникание сопровождается синтезом включений радона в объеме стали. Время жизни (распада) радона, генерированного в режиме СГП, не превышает 4 сут (рис. 3).

Таблица 2. Зона анализа

Точка анализа в стали	Na	Si	S	Rn	K	Ca	Mn	Fe
T14	0,85	0,56	0,39	3,33	1,20	1,38	1,09	91,2

В качестве зоны сварки использовали латунь, которой соединяли стали 110Г13 – сталь 10. После сварки проводили прошивку латуни (металлический материал) сгустками частиц карбида кремния и меди (рис. 4).

Частицы карбида кремния в объеме латуни формировали канальные зоны, в которых локализованы введенные легирующие элементы (рис. 5).

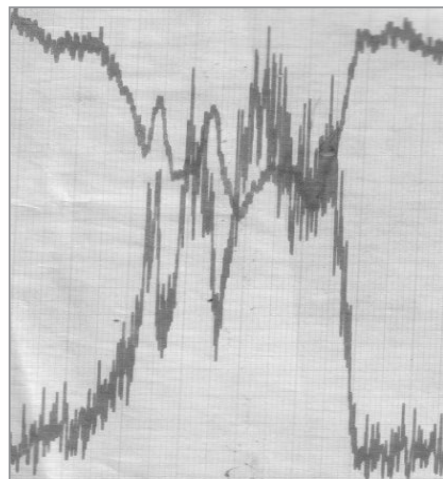


Рис. 2. Взаимное проникание сгустка свинцовых микрочастиц в стальную мишень

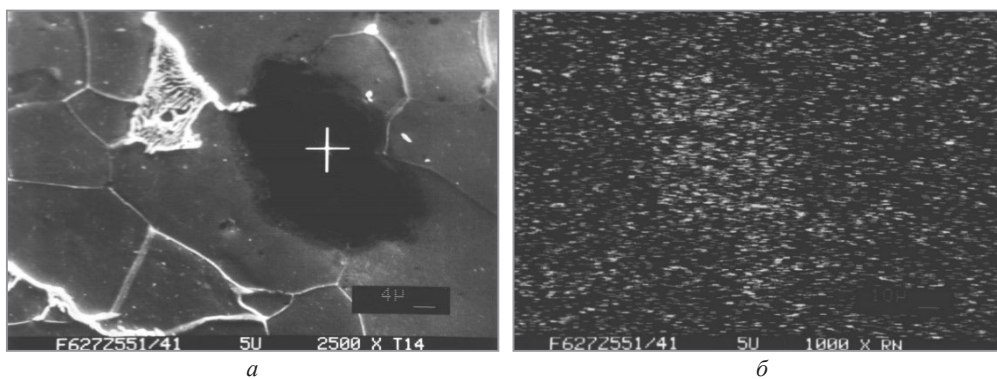


Рис. 3. Зоны стали, в которых произошли внедрения радона (Ra) (а, б)

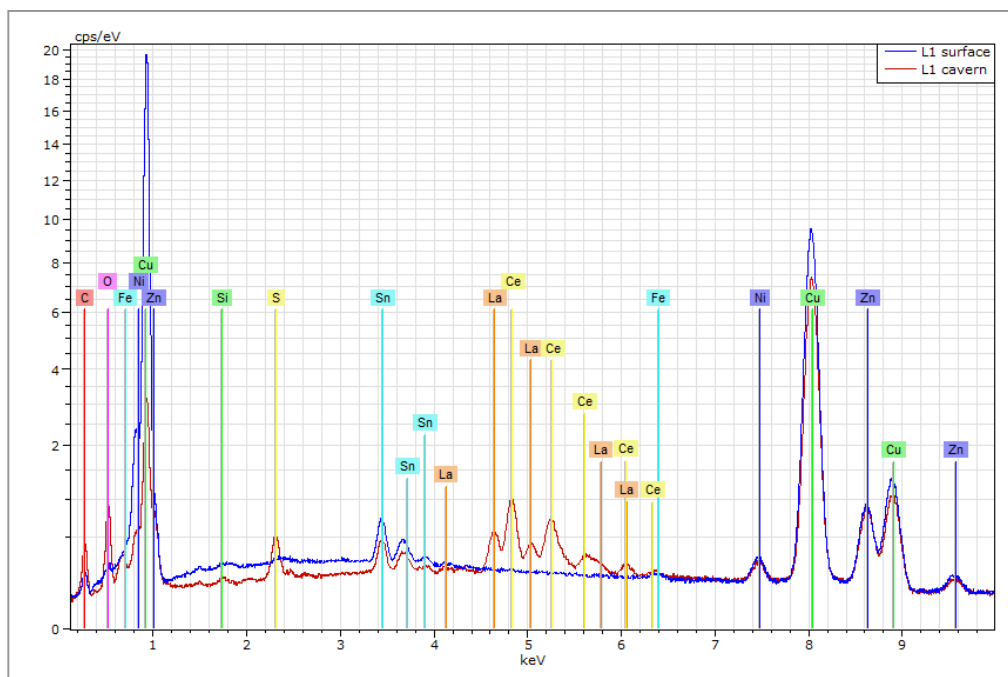


Рис. 4. Анализ зоны латуни, подвергнутой соударению с частицами SiC-Cu в режиме СТП

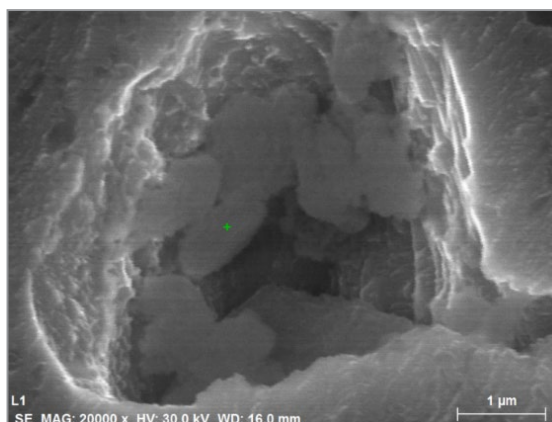


Рис. 5. Синтез лигатуры в зоне сварки при взрывном выделении энергии и торможении микроударников в тупиковых зонах армирующего волоконного материала латунной матрицы

Если выполнить микроанализы материалов синтезированных коконов, которые формируются в литой латуни в тупиковых зонах канала (рис. 6), тогда мы можем рассмотреть новые элементы синтезированной структуры.

Состав армирующих зон в латунной матрице, формируемых в режиме сверхглубокого проникания, приведен в табл. 3.

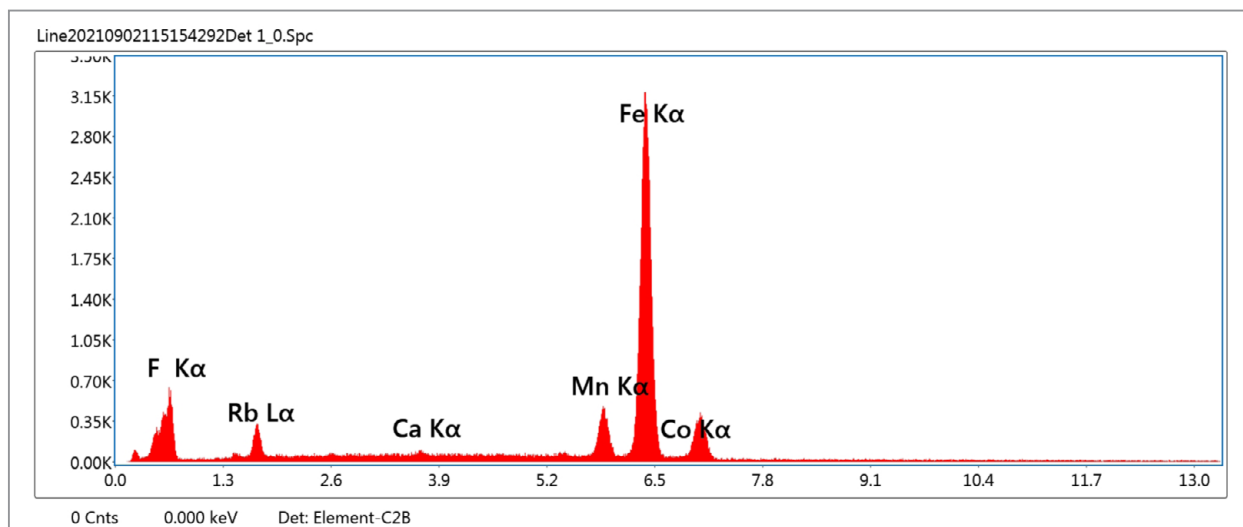


Рис. 6. Анализ результата синтеза лантаноида в сварочной ловушке.
Элементы, полученные синтезом: Fk – 2,92%; Rb – 4,54%

Таблица 3. Химический состав армирующей зоны (кокон), синтезированный в режиме СГП

Химический элемент	AN	unn. [wt. %]	C norm. [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [wt. %]
C	6	6,76	6,70	26,02	0,9
O	8	4,93	4,89	14,26	0,6
Si	14	0,05	0,05	0,08	0,0
S	16	1,37	1,36	1,98	0,1
Fe	26	0,10	0,10	0,09	0,0
Ni	28	0,82	0,81	0,65	0,0
Cu	29	62,84	62,29	45,74	1,6
Zn	30	8,21	8,14	5,80	0,2
Sn	50	2,68	2,65	1,04	0,1
La	57	4,31	4,27	1,43	0,1
Ce	58	8,81	8,74	2,91	0,3

В зонах сварки была использована прошивка сваренного образца сгустком микрочастиц кремния и меди в режиме сверхглубокого проникания (СГП).

В результате обработки заготовок из конструкций на основе разных сталей сгустками дискретных частиц в них могут реализоваться динамическая перестройка металлов и сплавов и создание композиционных волоконных материалов. В режиме сверхглубокого проникания при движении в матрице порошковых микрочастиц синтезируются химические элементы. На основании выполненного комплекса исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Процесс сверхглубокого проникания сопровождается генерацией дополнительной энергии, выделение которой носит импульсный характер.

2. За счет энергии множества микровзрывов, реализуемых в закрытой системе вдоль траекторий движения микроударников, происходит генерация дополнительной энергии и увеличение глубин проникания микроударников до десятков и сотен миллиметров.

3. Легирование в режиме сверхглубокого проникания происходит в твердом агрегатном состоянии за счет локального заноса вещества сгустков микрочастиц в трековые структуры, а также в условиях синтеза новых химических элементов и изотопов. Это приводит к формированию исходных армирующих волокон и существенному изменению твердости по объему сварной конструкции.

4. Доля синтезируемого легирующего вещества как химических элементов, так и изотопов достигает десятки массовых процентов.

5. Процесс легирования в режиме СГП локализован в армирующих зонах, что происходит как за счет заноса материала микрочастиц порошка, так и за счет синтеза легирующего материала в закрытой зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. Мн.: НИИ ИП с ОП, 1998. 210 с.
2. Ушеренко Ю.С. Модификация металлов и сплавов высокоскоростным потоком твердых частиц: Автореф. дис... канд. техн. наук. Гомель, 2013. 27 с.
3. Марукович Е.И., Ушеренко Ю.С., Ушеренко С.М. Динамическая модификация металлов. Минск: Беларуская навука, 2021. 153 с.

REFERENCES

1. Usherenko S.M. *Sverhglubokoe pronikanie chastic v pregrady i sozdanie kompozicionnyh materialov* [Superdeep penetration of particles into barriers and creation of composite materials]. Minsk, NII IP s OP Publ., 1998, 210 p.
2. Usherenko Ju.S. *Modifikacija metallov i splavov vysokoskorostnym potokom tverdyh chastic. Dis. kand. tehn. nauk* [Modification of metals and alloys by high-speed flow of solid particles. Kand. tehn. sci. dis.]. Gornel', 2013, 27 p.
3. Marukovich E.I., Usherenko Ju.S., Usherenko S.M. *Dinamicheskaja modifikacija metallov* [Dynamic modification of metals]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2021, 153 p.