

**Разработка присадочных
материалов для дуговой наплавки
дисперсной-упрочненных
композиционных покрытий
на основе алюминия**

П.А. Быков, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева

ИМЕТ РАН

Р.С. Михеев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

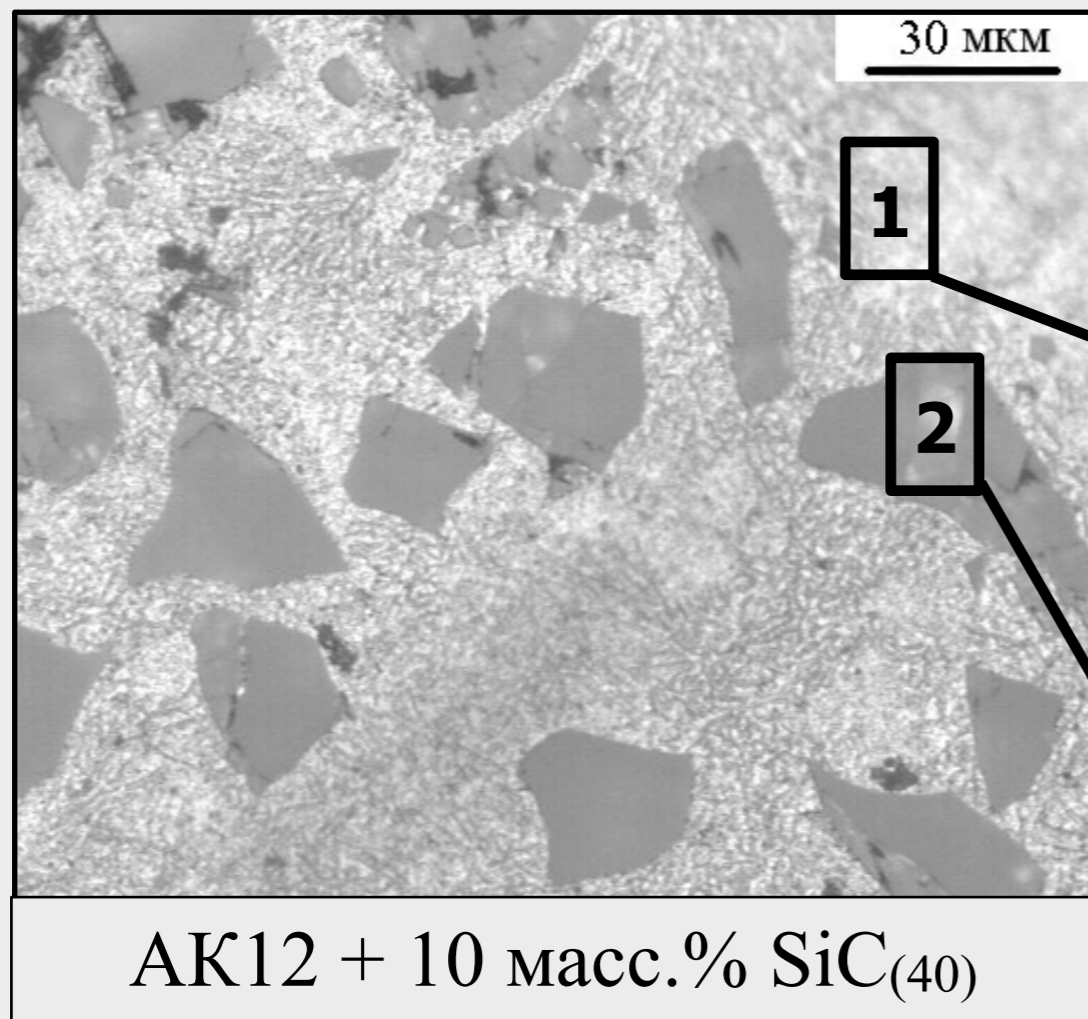


Повреждение рабочих органов машин и механизмов на примере вкладыша подшипника скольжения моторно-осевого блока локомотива



Дисперсно-упрочненные композиционные материалы

(А.Т. Alpas, А.Р. Kennedy, S.C. Sharma, А.П. Амосов, А.Г. Колмаков,
Ю.А. Курганова Б.И. Семенов, Т.А. Чернышова и др.)



высокопластичные
металлические матрицы
(сплавы на основе алюминия)

высокопрочные,
тугоплавкие наполнители
*(керамические,
интерметаллидные частицы)*

**Разработка присадочных материалов для дуговой
наплавки дисперсно-упрочненных композиционных
покрытий на основе алюминия**

Присадочный материал для дуговой наплавки

Матричный сплав:

АО 6-1 по ГОСТ 14113

(система Al-Sn-Cu)

Химический элемент	Содержание, масс.%
Al	от 89,5 до 93,6
Sn	от 5,0 до 7,0
Cu	от 0,7 до 1,3
Ni	от 0,7 до 1,3
Si	менее 0,3
Fe	менее 0,3

Наполнители:

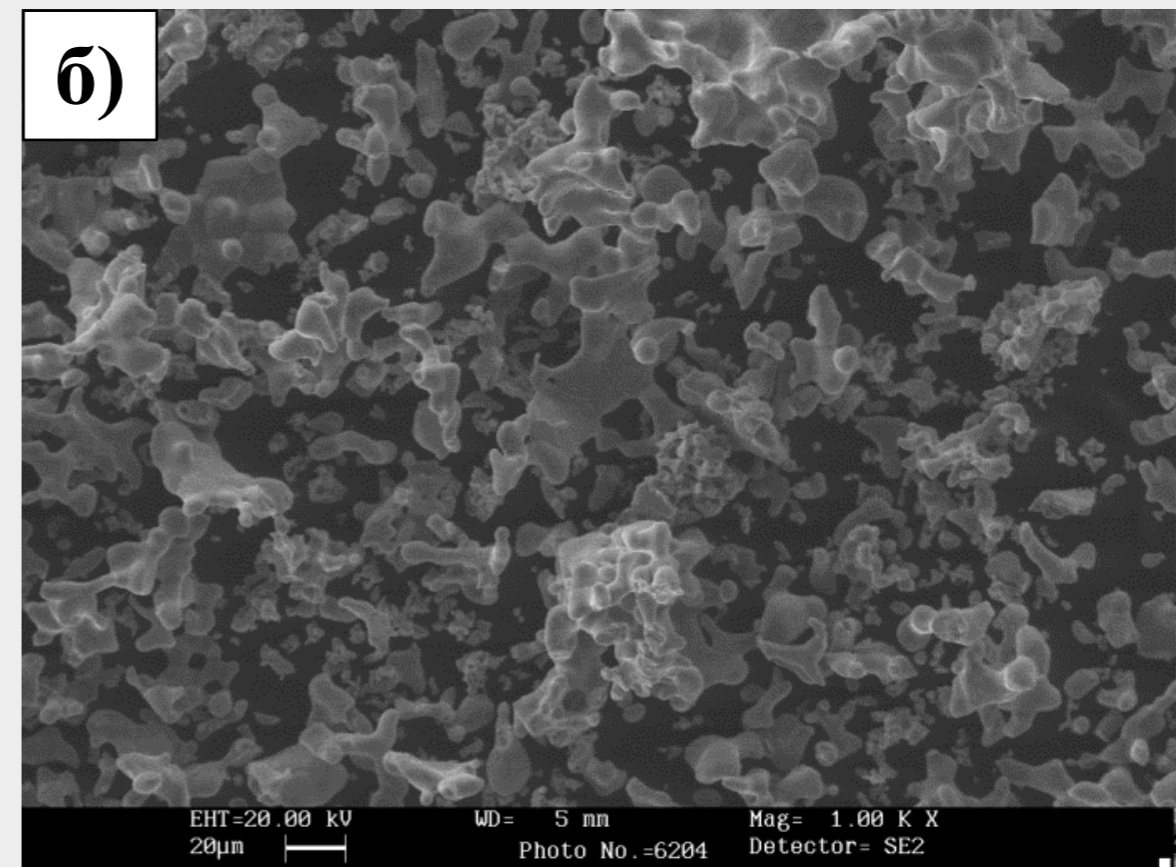
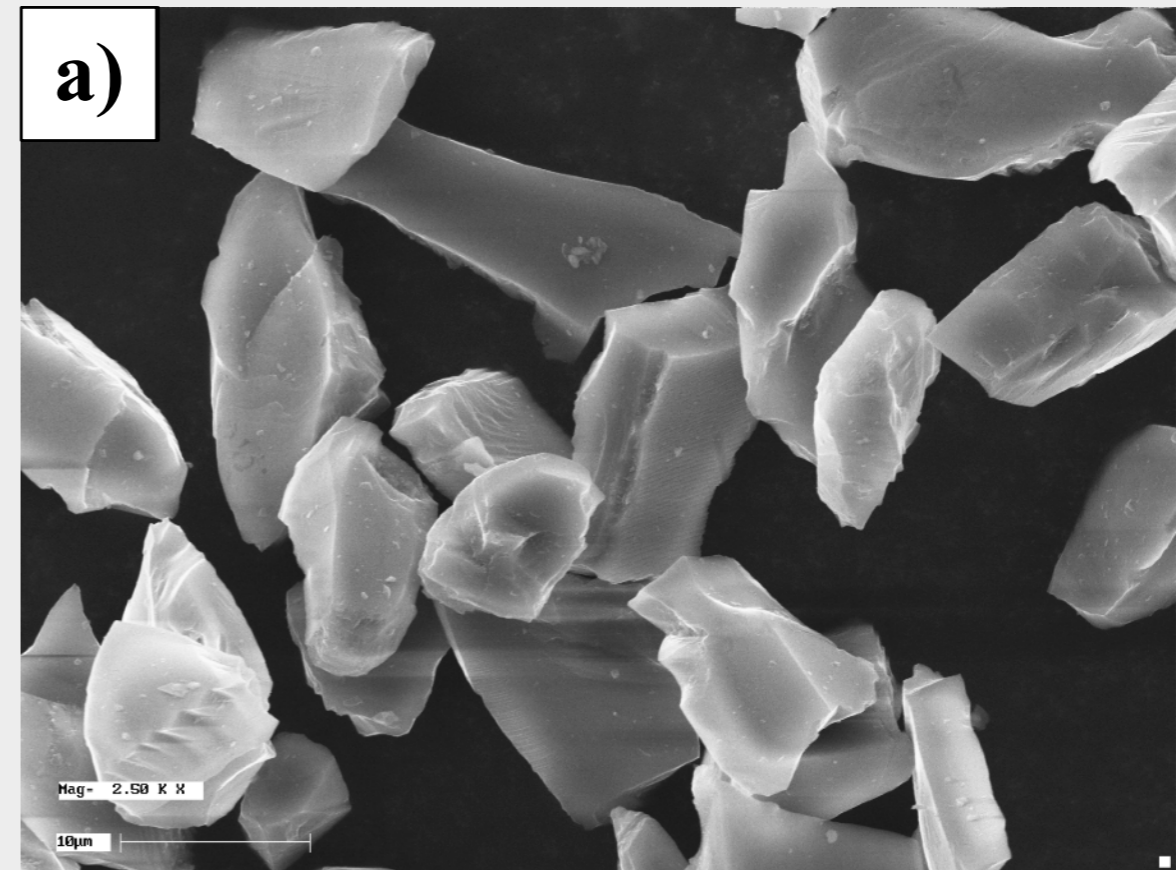
а) α -SiC (средний размер 40 мкм);

б) Ti_2NbAl (размер <100 мкм);

Модифицирующие добавки:

в) Cr_2C_3 (средний размер 1,5 мкм);

г) TiC (средний размер 0,7 мкм).



Изготовление присадочных материалов

Схема процесса экструзии композиционной порошковой смеси:

- 1 – пуансон;
 - 2 – пресс-форма;
 - 3 – композиционная порошковая смесь;
 - 4 – фильера;
 - 5 – стол пресса;
 - 6 – присадочный материал из КМ.
- P* - осевое усилие.

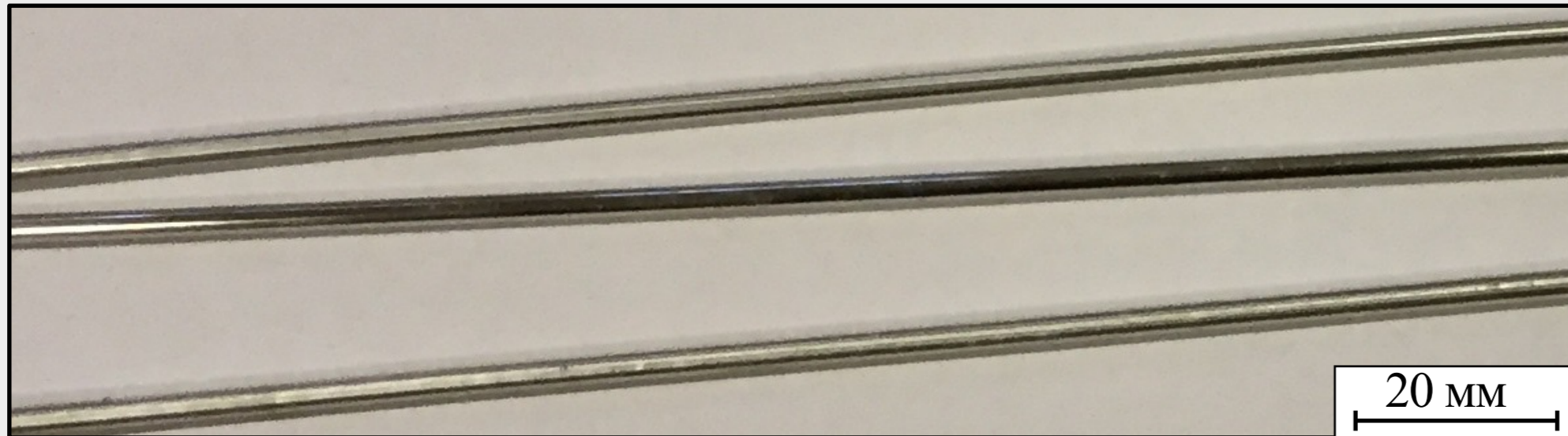
Технологические параметры процесса изготовления присадочных материалов:

Состав присадочного материала, масс. %	Технологические параметры процесса:			
	смешивания исходных порошковых смесей		экструзии	
	частота вращения, ω , об/мин	время, t , мин	температура нагрева, T , К	осевое усилие, P , кН
АО 6-1 (матрица)	300	60	973	(115-120)
АО 6-1 + 10 $Ti_2NbAl_{(<100)}$ ¹⁾	350	15	993	
АО 6-1 + 10 $SiC_{(40)}$				
АО 6-1 + 10 $Ti_2NbAl_{(<100)}$ + 1 $Cr_2C_3_{(1,5)}$				
АО 6-1 + 10 $SiC_{(40)}$ + 1 $TiC_{(0,7)}$				

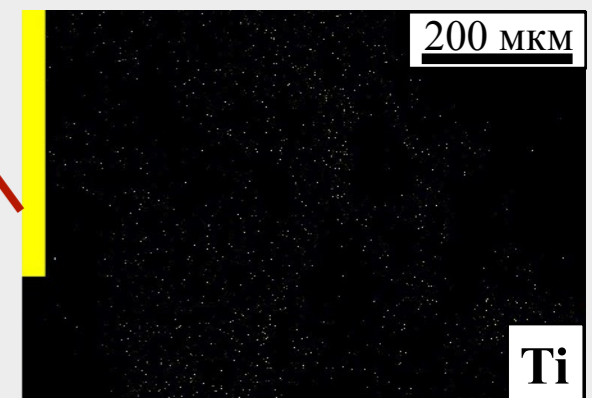
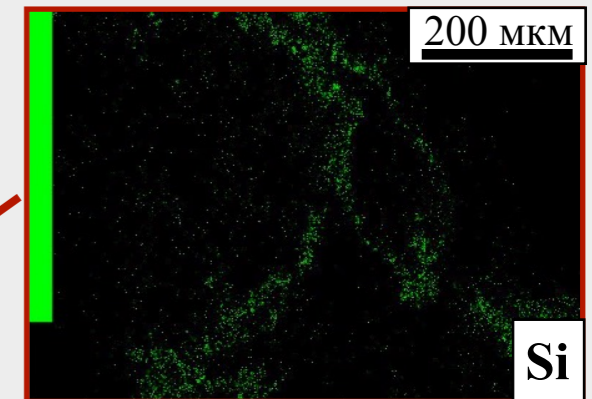
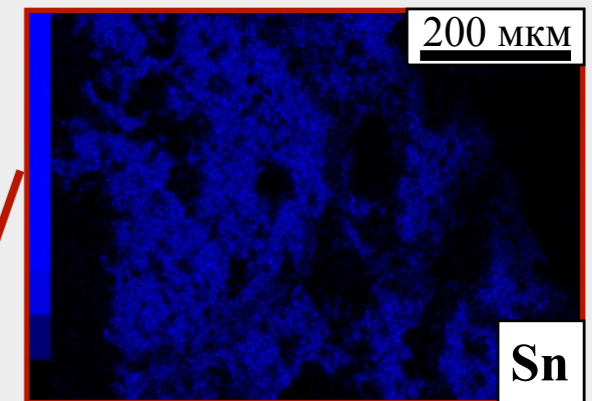
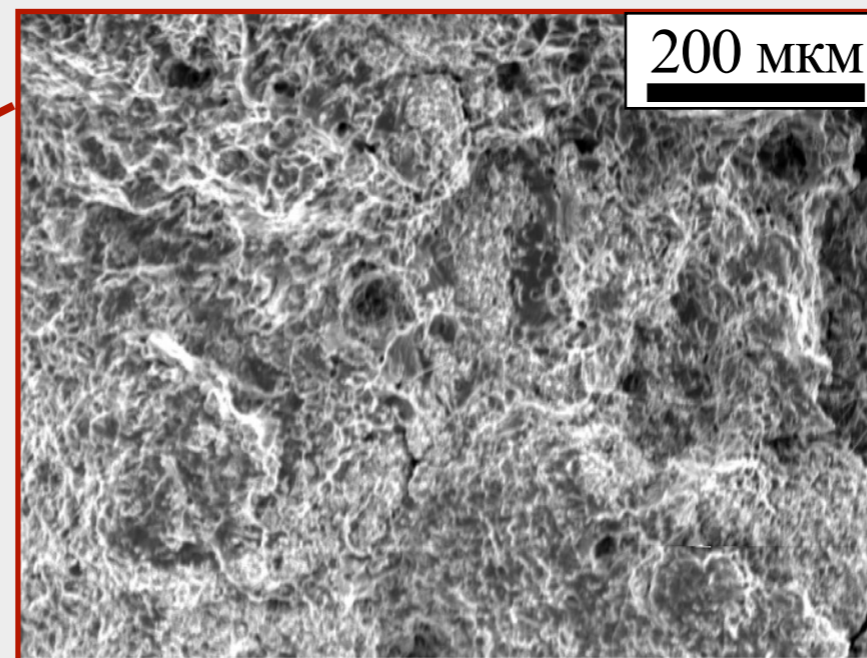
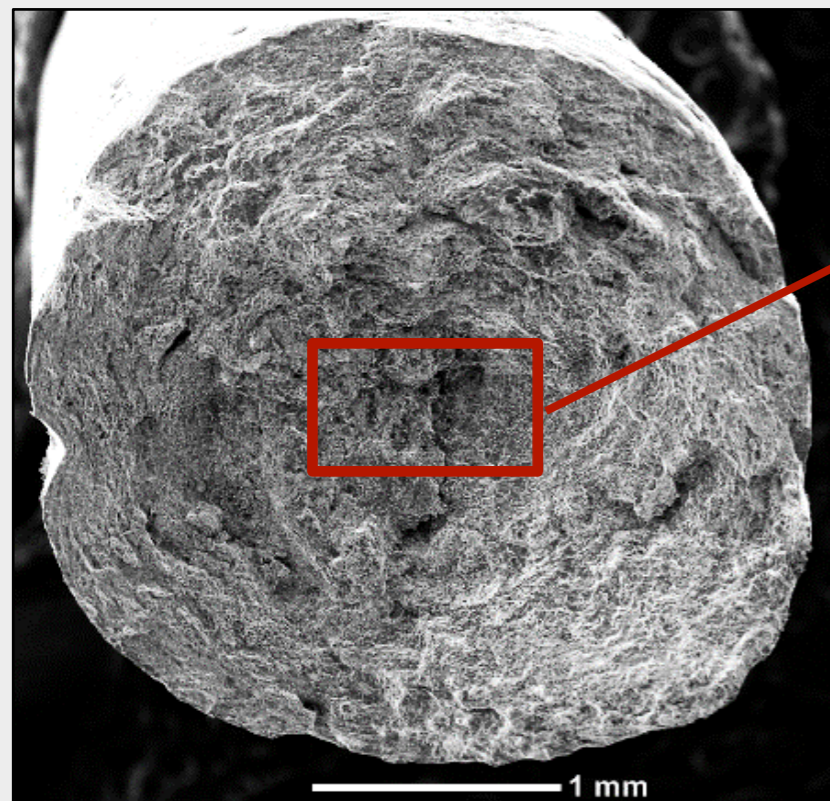
¹⁾ средний размер частиц в мкм

Характерные внешний вид и микроструктура изготовленных присадочных материалов

Геометрические размеры присадочных материалов (ГОСТ 21449):

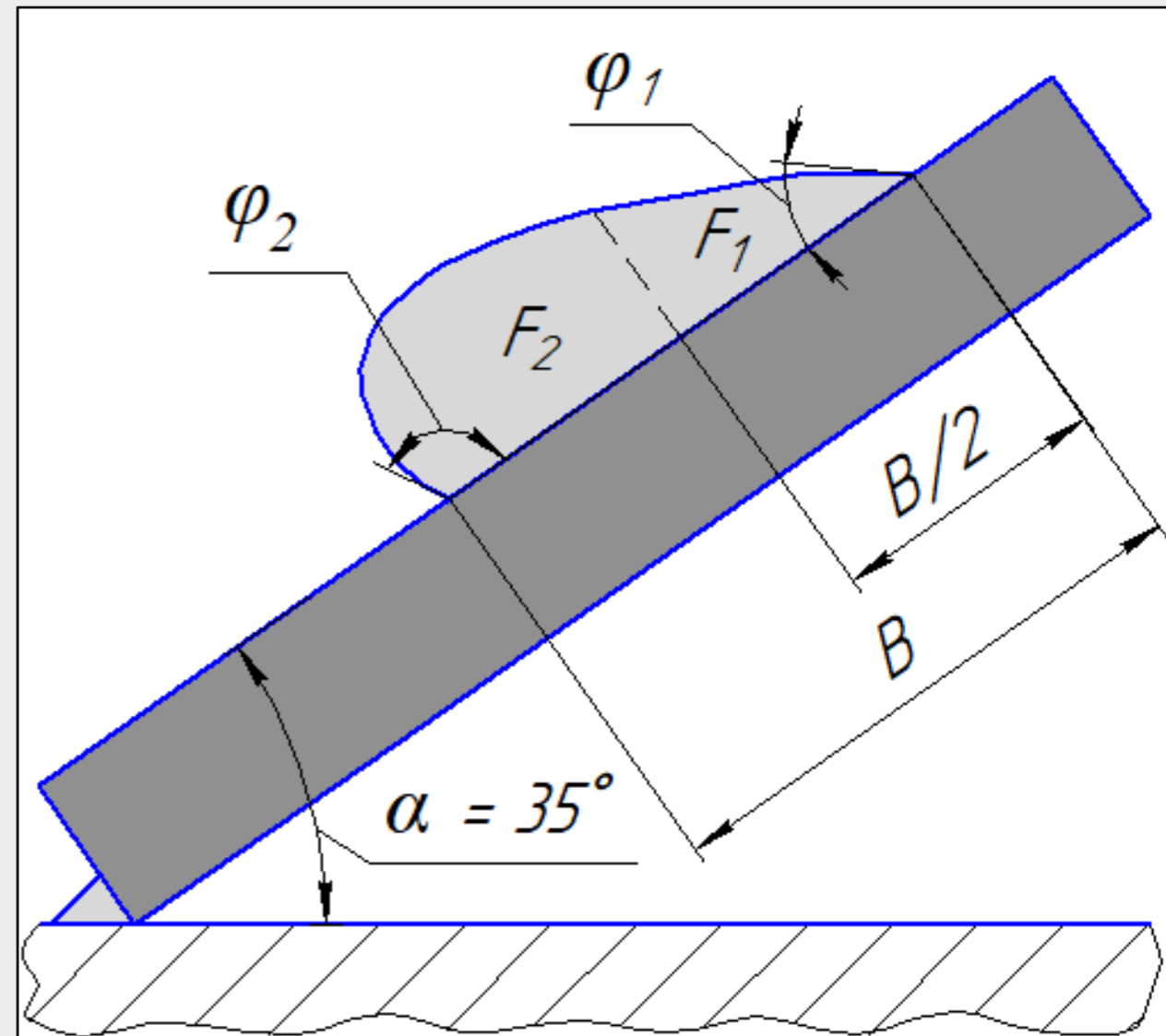
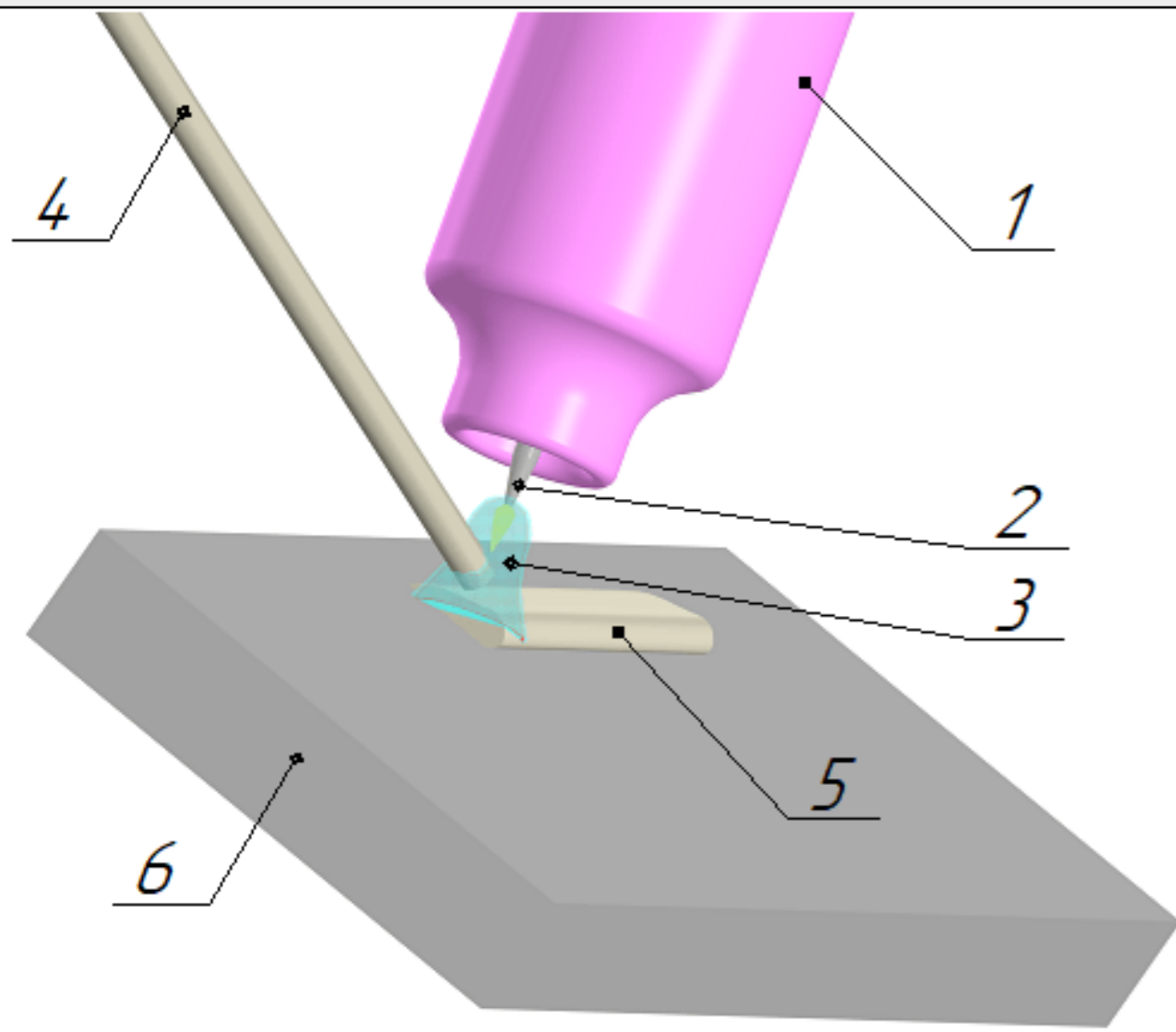


диаметр (\varnothing): $3 \pm 0,1$ мм;
длина (L): 450 ± 9 мм.



Состав присадочного материала, масс. %: АО 6-1 + 10 $\text{SiC}_{(40)}$ + 1 $\text{TiC}_{(0,7)}$

Оценка жидкотекучести композиционной сварочной ванны¹⁾



- 1 – сопло горелки;
- 2 – вольфрамовый электрод;
- 3 - электрическая дуга;
- 4 - присадочный пруток из КМ;
- 5 - наплавленный валик шириной B;
- 6 - подложка (АМг6, ГОСТ 4784).

- F_1, F_2 – площадь половины поперечного сечения валика;
- φ_1, φ_2 – краевой угол оттеkania и натеkania;
- θ - равновесный краевой угол смачивания.

$$\cos(\theta) = \frac{\cos(\varphi_1) + \cos(\varphi_2)}{2}$$

F_2/F_1 – показатель жидкотекучести.

¹⁾ метод А.А. Ерохина, Сварочное производство, 1955, №5

Результаты оценки жидкотекучести композиционной сварочной ванны



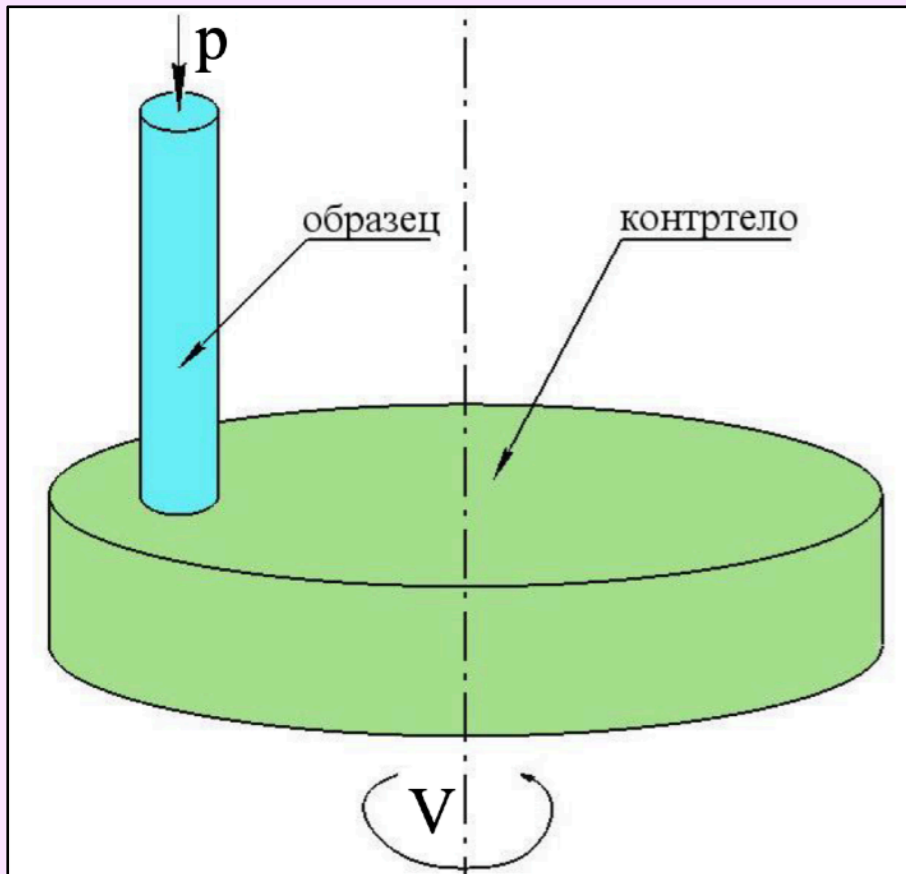
Несимметричность поперечного сечения валика, F_2/F_1

Номер состава присадочного материала

№	Состав присадочного материала, масс.%	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_2, ^\circ$	$\theta, ^\circ$
1	АО 6-1	27	120	79
2	АО 6-1 + 10 $Ti_2NbAl_{(<100)}$	45	83	66
3	АО 6-1 + 10 $SiC_{(40)}$	42	75	60
4	АО 6-1 + 10 $Ti_2NbAl_{(<100)}$ + 1 $Cr_2C_{3(1,5)}$	46	53	49
5	АО 6-1 + 10 $SiC_{(40)}$ + 1 $TiC_{(0,7)}$	39	61	51

Испытания изготовленных присадочных материалов на трение и износ

Схема нагружения и параметры испытаний



Параметр	Значение
схема нагружения «ПАЛЕЦ ПО ДИСКУ»	
Осевая нагрузка (F), Н	от 14 до 70
Удельное давление (p), МПа	от 0,5 до 2,5
Частота вращения (n), об/мин	540
Окружная скорость (V), м/с	0,39
Напряженность работы (pV), МПа м/с	от 0,2 до 1,0
Длительность испытания при каждой нагрузке (t), с	600
Характеристика контртела	Сталь 40Х (HRC≥45)

Контролируемые параметры

I_v – объемная интенсивность изнашивания:
$$I_v = \frac{\Delta m}{\rho L}$$

f – коэффициент трения:
$$f = \frac{M}{R F}$$

где Δm - изменение массы образца; ρ - плотность образца; L - путь трения; F – осевая нагрузка; M – момент трения; R - радиус образца.

Результаты испытаний на трение и износ изготовленных присадочных материалов



№	Состав присадочного материала, масс.%	Значение коэффициента трения (f) в зависимости от удельного давления (p, МПа)				
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1	АО 6-1	0,33	0,26	0,24	0,23	0,16
2	АО 6-1 + 10 Ti ₂ NbAl _(<100)	0,27	0,22	0,16	0,12	0,11
3	АО 6-1 + 10 SiC ₍₄₀₎	0,28	0,25	0,21	0,19	0,12
4	АО 6-1 + 10 Ti ₂ NbAl _(<100) + 1 Cr ₂ C _{3(1,5)}	0,24	0,21	0,15	0,14	0,08
5	АО 6-1 + 10 SiC ₍₄₀₎ + 1 TiC _(0,7)	0,26	0,19	0,18	0,13	0,09

¹⁾ за полный цикл испытаний (последовательное ступенчатое осевое нагружение на 5 указанных режимах)

Выводы:

1. Разработаны новые присадочные материалы для дуговой наплавки дисперсно-упрочненных композиционных покрытий на основе антифрикционного алюминиевого сплава АО 6-1, содержащих частицы SiC (средний размер 40 мкм), Ti₂NbAl (размер менее 100 мкм), а также модифицирующие добавки Cr₂C₃ (средний размер 1,5 мкм) или TiC (средний размер 0,7 мкм).
2. Определены технологические параметры процесса экструзии исходных порошковых смесей, позволяющие изготавливать присадочные материалы в форме прутков стандартизированных размеров: диаметр: $3 \pm 0,1$ мм; длина: 450 ± 9 мм, при отсутствии интенсивного химического взаимодействия между материалом матрицы и наполнителя на всех стадиях получения присадочных материалов.
3. Показано, что изготовленные присадочные материалы разработанных составов обеспечивают сварочно-технологические свойства (жидкотекучесть сварочной композиционной ванны), позволяющие сформировать функциональные покрытия процессом дуговой наплавки.
4. Установлено, что присадочные материалы характеризуются повышенной до 50% износостойкостью, наряду с пониженным в 2 раза коэффициентом трения в условиях сухого трения скольжения по сравнению с неармированным антифрикционным матричным сплавом АО 6-1.

**Благодарю
за внимание!**

***Мухеев Роман Сергеевич
roman.s.mikheev@gmail.com***