

**Перспективные
функционально-организованные
слоистые сталеалюминиевые
композиции триботехнического
назначения**



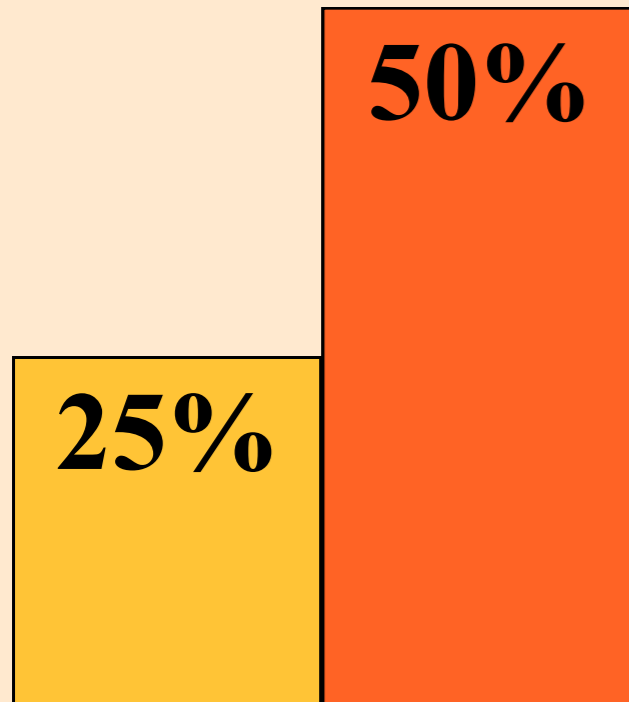
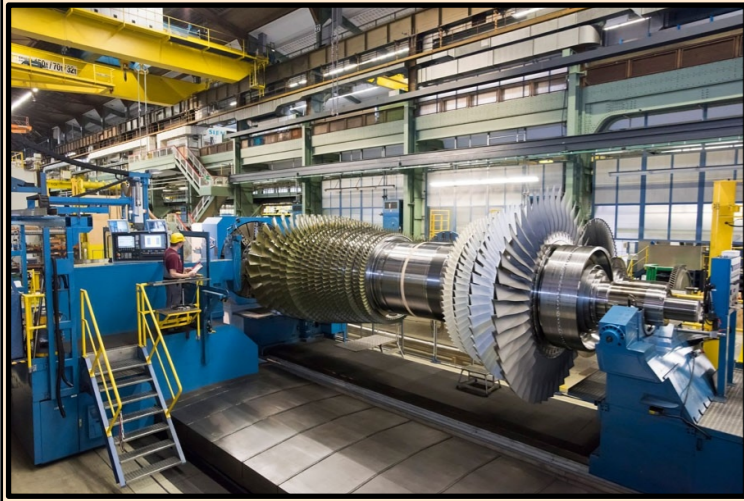
Р.С. Михеев, И.Е. Калашников, Д.В. Слепов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Количество отказов машин и механизмов

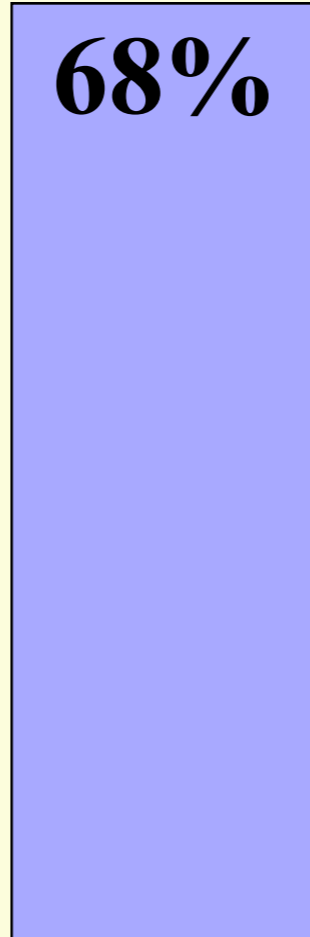
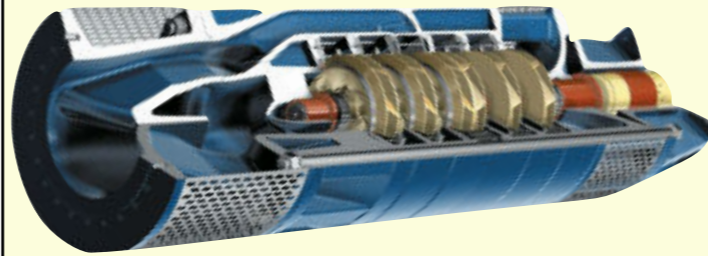
по причине износа в результате трения скольжения

турбостроение¹⁾

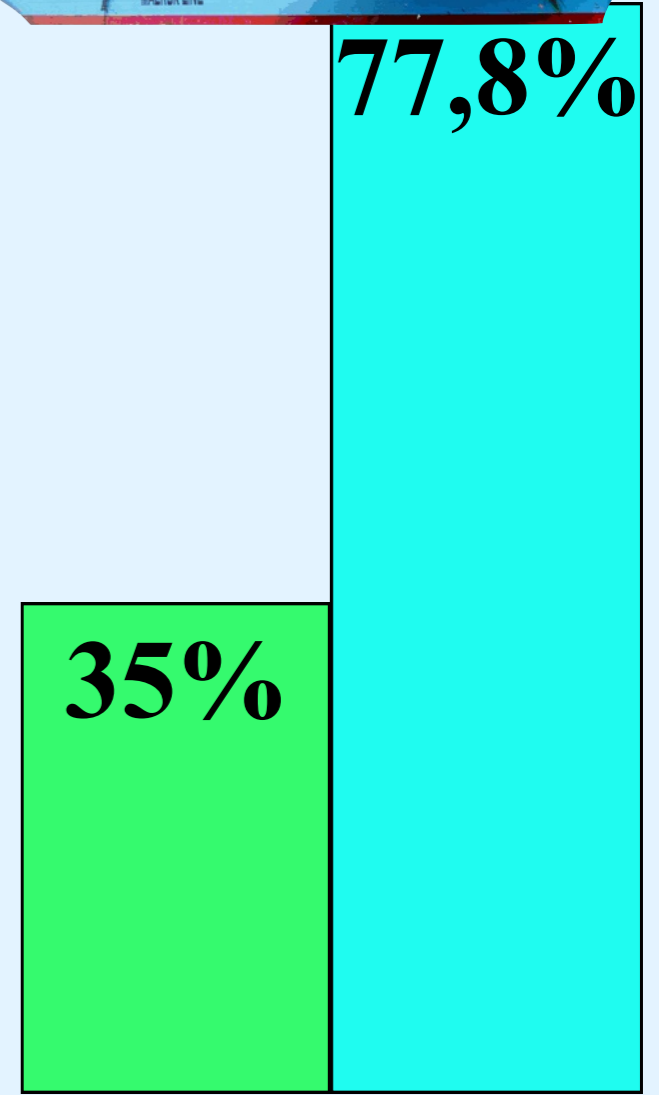
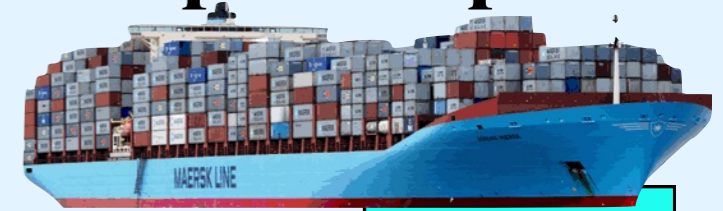


паровые турбины газовые турбины

насосостроение²⁾



транспорт³⁾



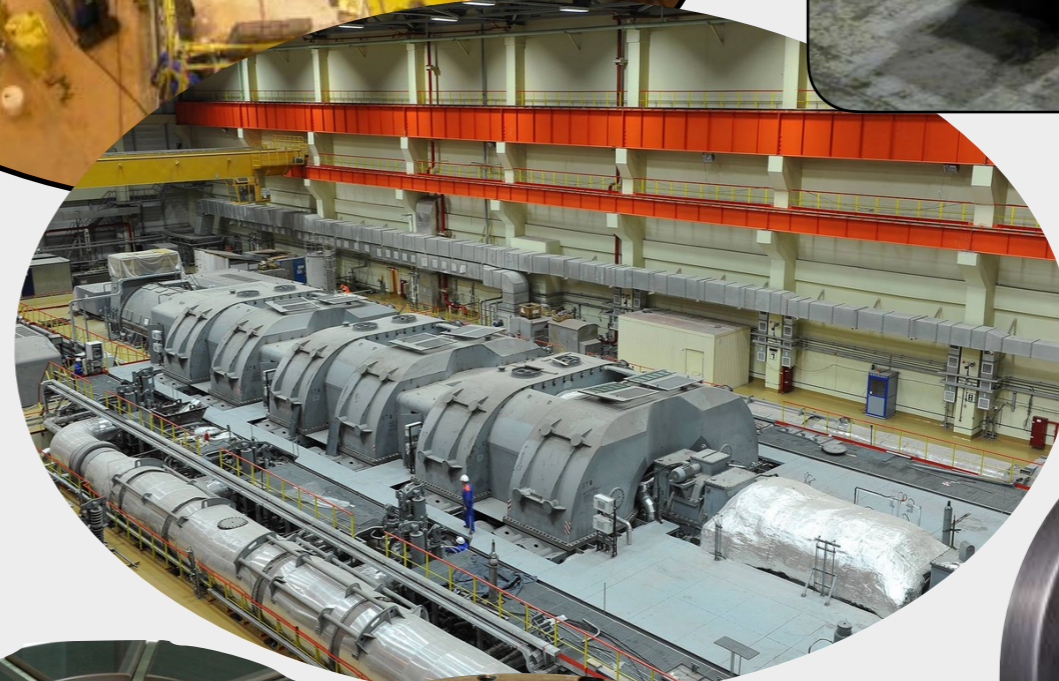
наземный водный

1) А.Е. Языков, Б.Е. Мурманский, П.П. Павленко, Е.И. Величко, Ma Yang;

2) Л.И. Шафикова, Р.Н. Пономарев, А.А. Ишмурзин, Feng Xinxin;

3) В.А. Зорин, Л.Б. Леонтьев, В.М. Макаров Л.И. Погодаев, А.А. Кузьмин, L.A. Branagan,

Опорные узлы с подшипниками скольжения



металлические конструкции на основе Al, Cu, Sn и Pb

биметаллические конструкции основание - низкоуглеродистая сталь, поверхностный слой - на основе Al, Cu, Sn и Pb3

Антифрикционные материалы

Традиционные:

на основе алюминия

ГОСТ 14113: АО6-1, АО9-1, АО12-1, АО20-1, АМК;
ГОСТ ИСО 4383: AlSn6Cu, AlSn11Cu, AlZn5Si1; AlSn10Si3, AlSn6Si4

на основе меди

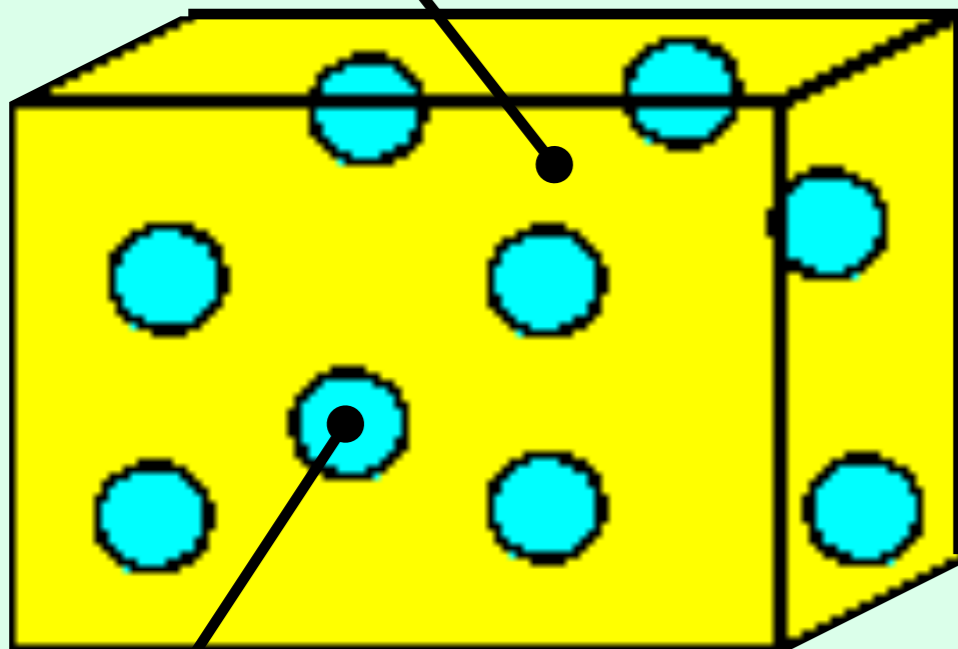
ГОСТ 14113: БрО10, БрО6Ц6С3, БрО6С6Ц3; БрО3Ц12С5, БрОЦ10-2;
ГОСТ ИСО 4383: CuPb10Sn10, CuPb24Sn4, CuPb24Sn, CuPb30

на основе олова или свинца

ГОСТ 1320: Б83, Б83С, Б88, Б16, БН;
ГОСТ ИСО 4383: SnSb8Cu4, PbSb10Sn6, PbSb15Sn10;
ASTM B23: Grade 1-16

ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ (1)
(например, сплавы на основе Al)

1



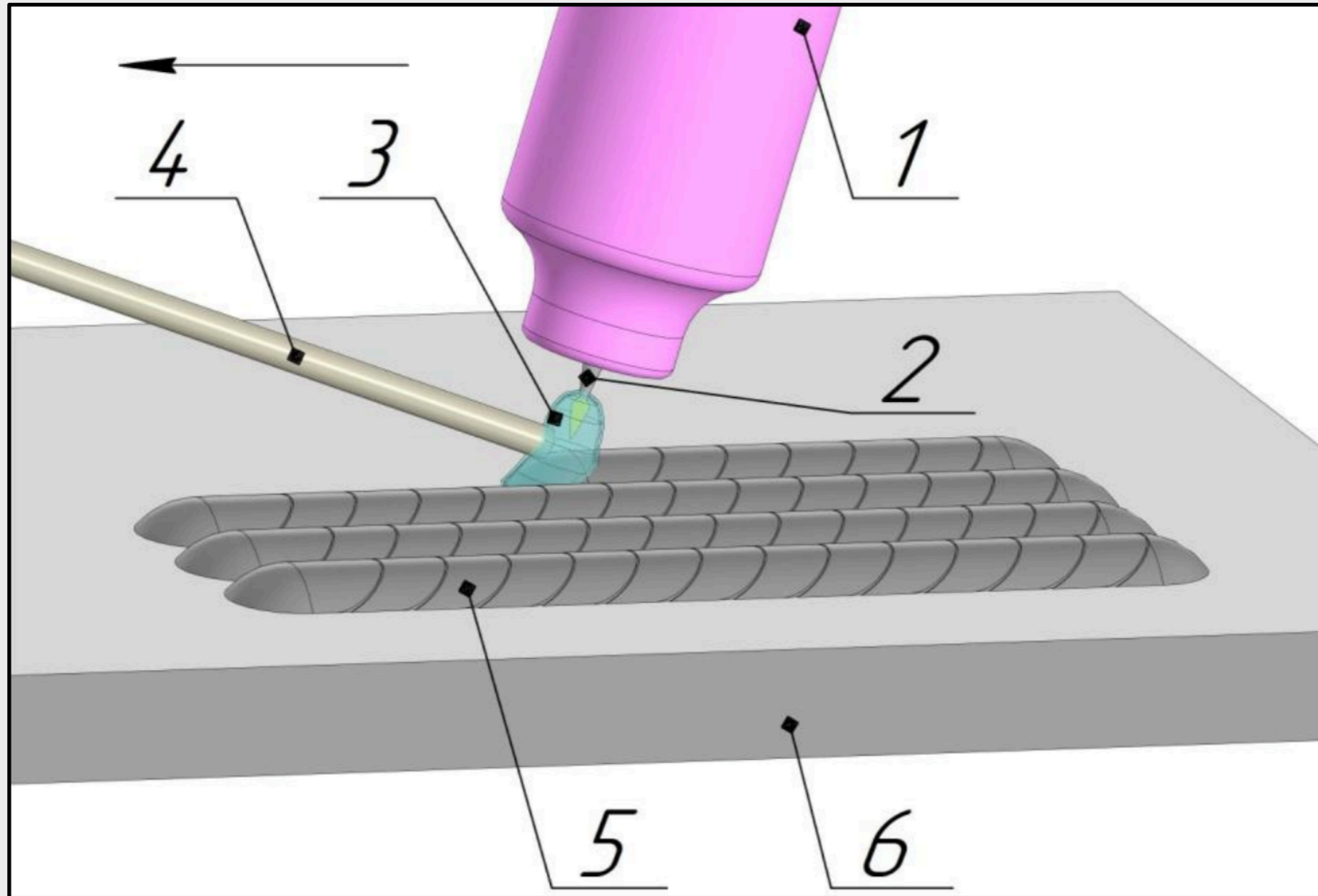
ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (КМ)
(А.Р. Kennedy, А.Т. Alpas, S.C. Sharma, Т.А. Чернышова, Б.И. Семенов, Ю.А. Курганова, А.Г. Колмаков и др.)

2

ТУГОПЛАВКИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ (2)
(например, частицы SiC, TiC, Ti₂NbAl и др.)

Процесс нанесения покрытий из КМ

Схема процесса дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе (141):



1. Сопло сварочной горелки;
2. Неплавящийся вольфрамовый электрод;
3. Электрическая сварочная дуга;
4. Присадочный пруток из КМ;

5. Наплавленное покрытие из КМ;
 6. Подложка: сталь 20 (ГОСТ 1050).
- Стрелкой обозначено направление процесса наплавки.

Критерии выбора состава композиционных материалов

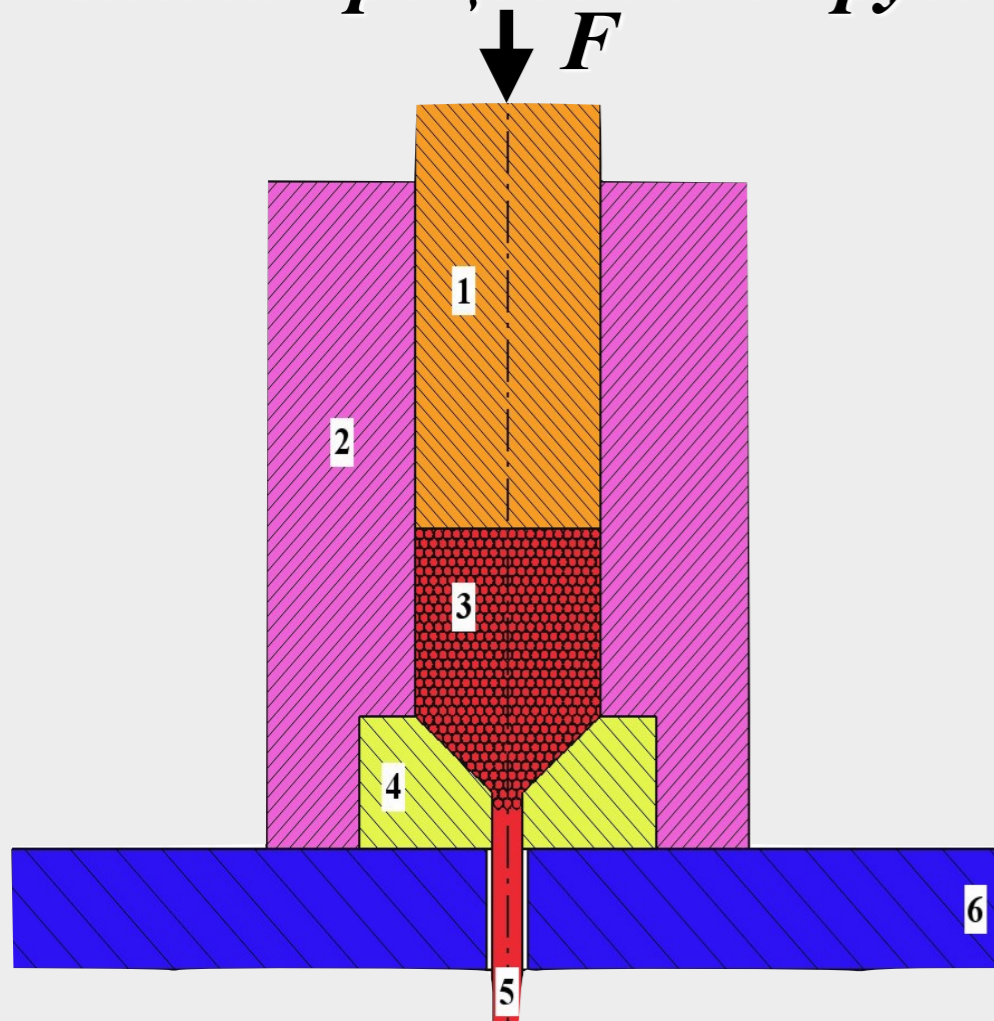


Изготовление присадочных прутков из КМ

Размеры и внешний вид присадочных прутков из КМ:

$\varnothing 3 \pm 0,1$ мм; $L=450 \pm 9$ мм
(ГОСТ 21449).

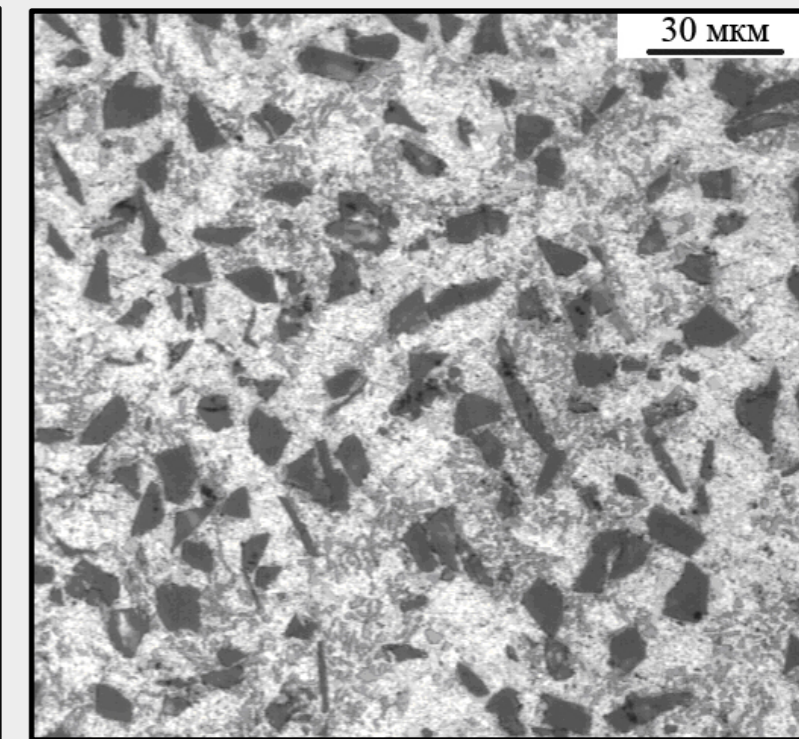
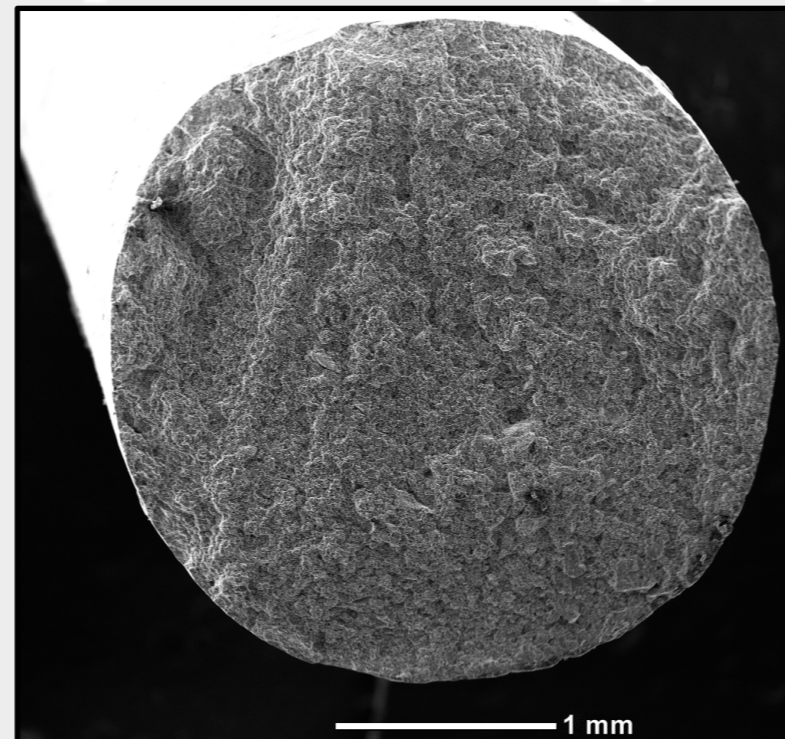
Схема процесса экструзии:



1 – пуансон; 2 – прессформа;
3 – изотропный КМ; 4 – фильера;
5 – наплавочный пруток из КМ;
6 – стол пресса. F - осевая сила.

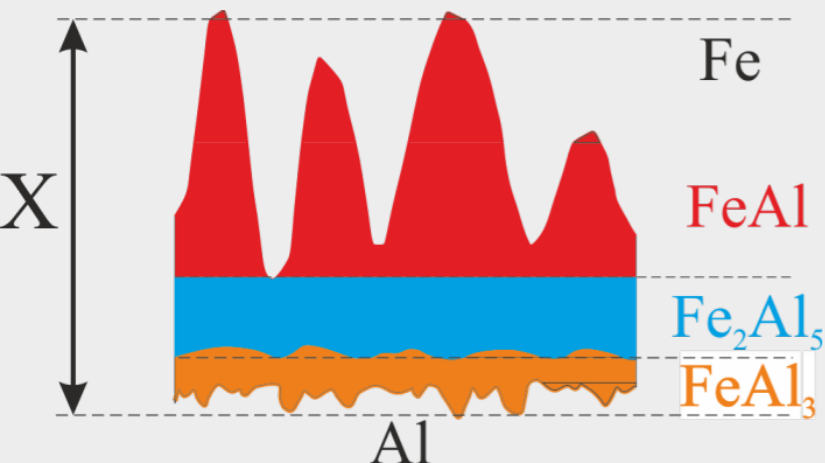


Характерная микроструктура присадочных прутков из КМ:



Нанесение на сталь покрытий из КМ на основе Al

Внешний вид, схема диффузионной прослойки из интерметаллидов системы Fe-Al и их характеристики



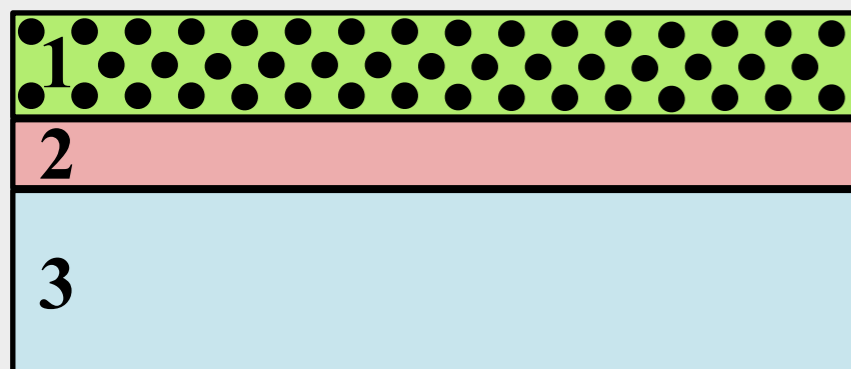
Фаза	Содержание Al, ат%	Микротвердость, НВ	Временное сопротивление, МПа	
			растяжение	сжатие
FeAl ₃	74,5-76	1050	15	45
Fe ₂ Al ₅	70-73	1150	17	75
FeAl ₂	66-66,9	910	42	60
FeAl	23-55	530	>100	980
Fe ₃ Al	23-34	400	>100	900

Рябов, В.Р. Алитирование стали / В.Р. Рябов. – М. : Metallurgy, 1973. - 240 с.

Matysik, P. Characterization of low-symmetry structures from phase equilibrium of Fe-Al system-microstructures and mechanical properties / Matysik P., Józwiak S., Czujko T // Materials. - 2015. Vol. 8, № 3. P. 914–931.

The characterization of the intermetallic Fe-Al layer of steel-aluminum weldings / M. Potesser [et al.] // The Minerals, Metals & Materials Society. - 2006. – Vol.61. - P. 167–176.

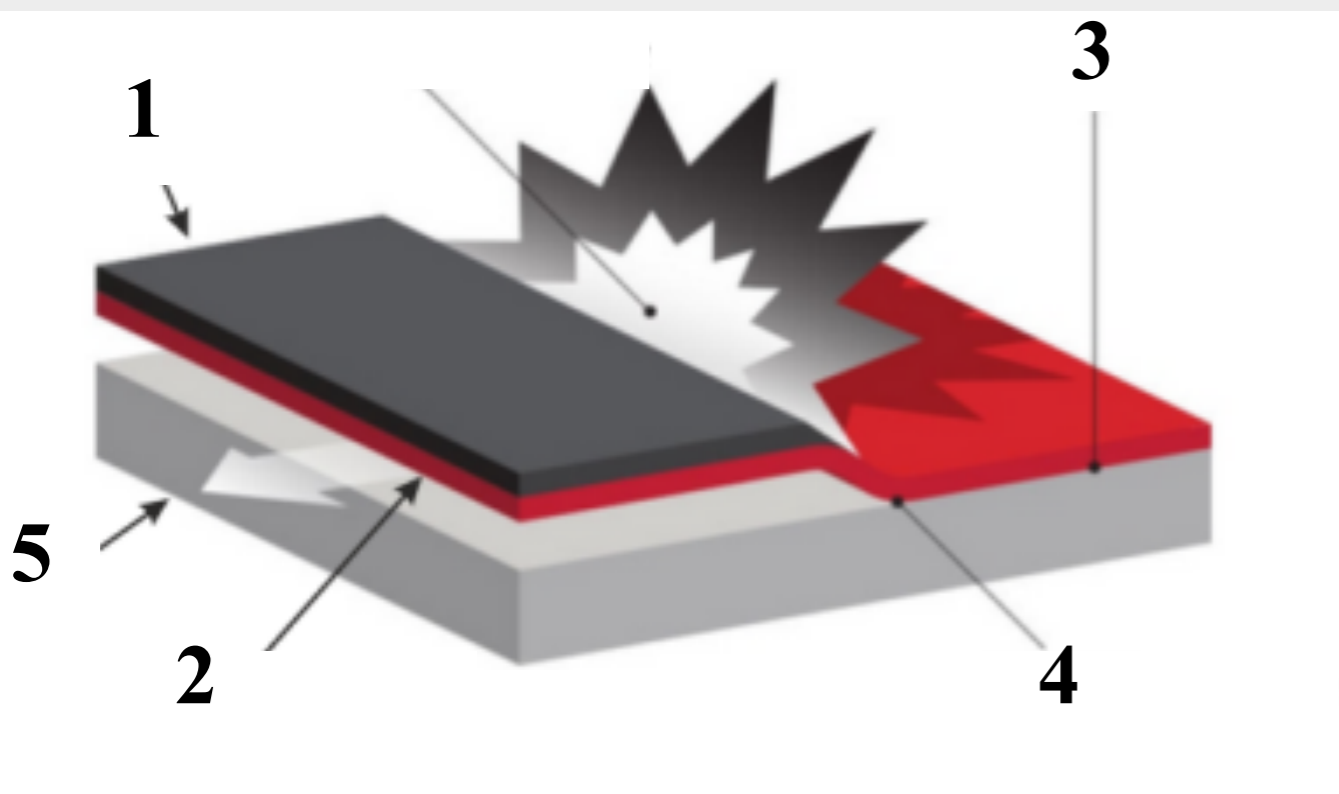
Схема функционально-организованной слоистой композиции:



1. покрытие из КМ на основе алюминия;
2. промежуточный слой: алюминий;
3. подложка: низкоуглеродистая сталь.

Формирование промежуточного слоя процессом сварки взрывом

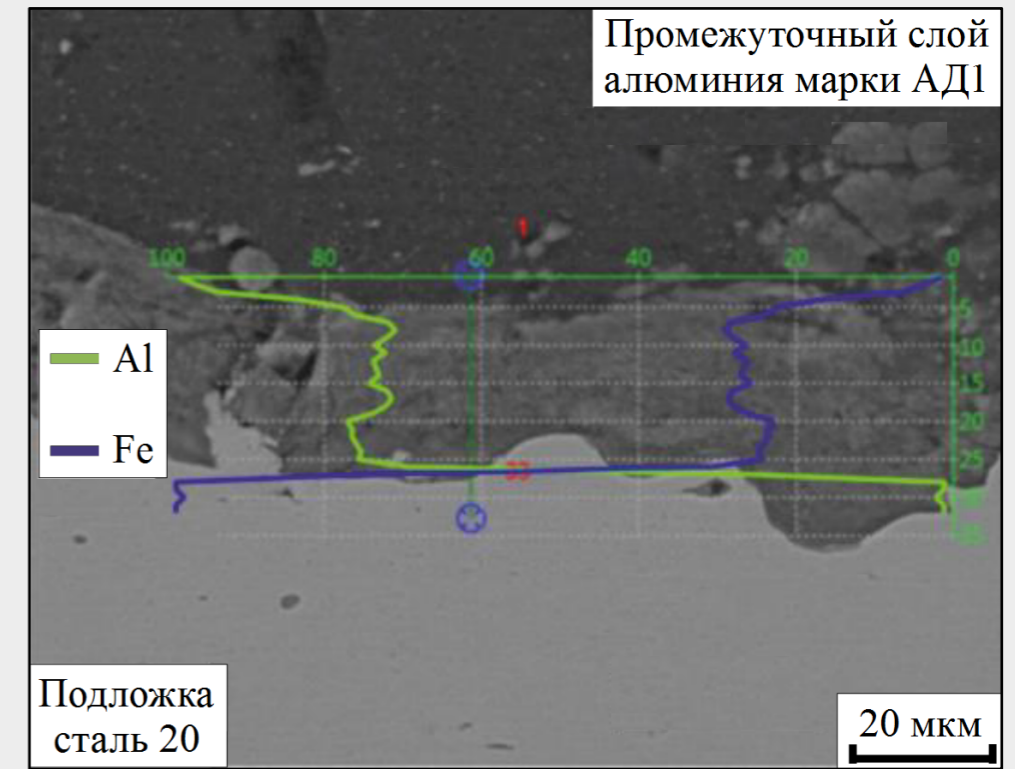
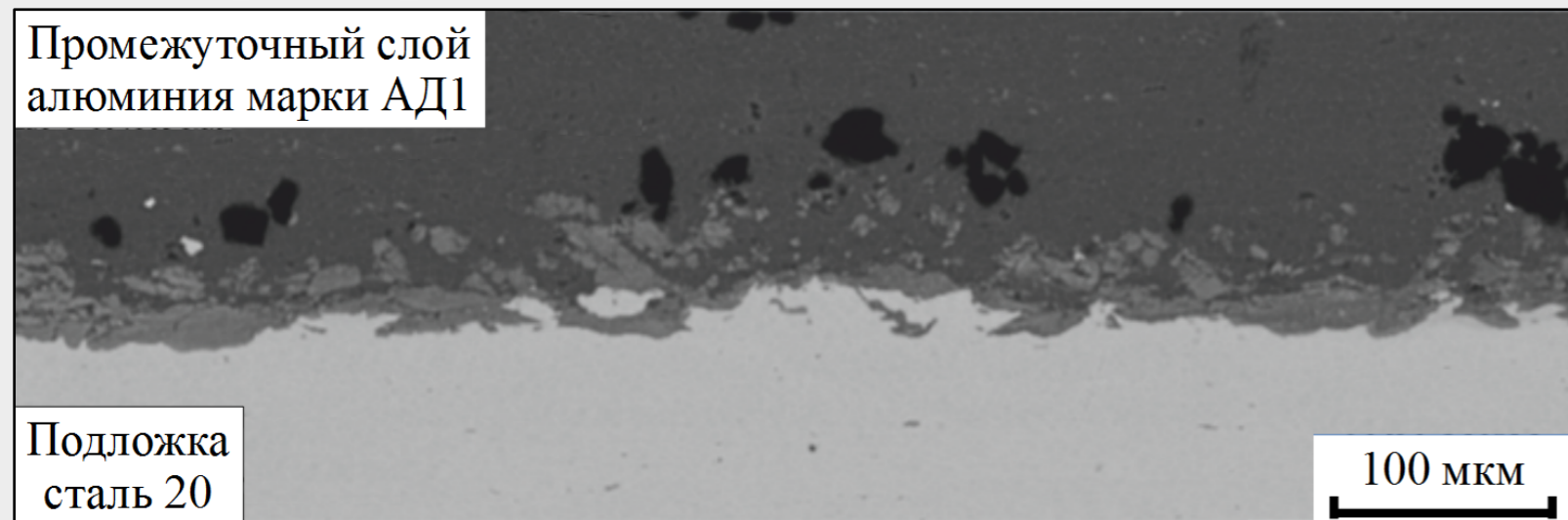
Схема процесса сварки взрывом¹⁾:



1. Взрывчатое вещество - аммонит №6ЖВ (ГОСТ 21984);
2. Промежуточный слой - АД1 (ГОСТ 4784);
3. Линия сплавления;
4. Место столкновения;
5. Подложка - сталь 20 (ГОСТ 1050).

¹⁾ Процесс осуществлен в ВолгГТУ,
Проф. С.В. Кузьминым

Микроструктура границы раздела подложка-промежуточный слой:



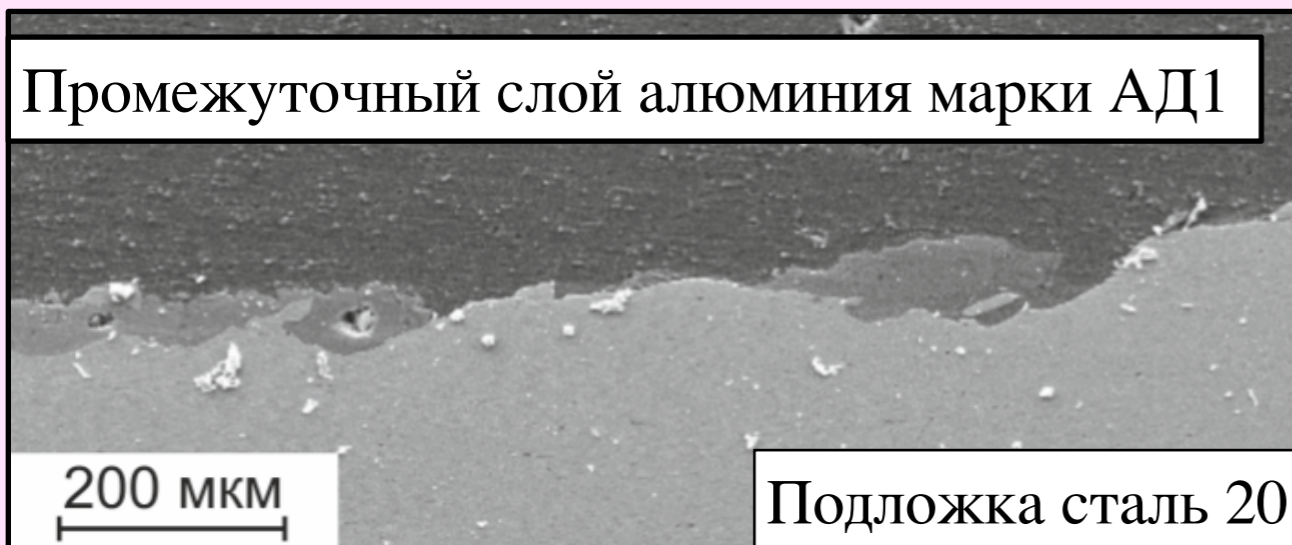
«Оплавы» в виде интерметаллидов:
 Fe_2Al_5 ; $FeAl_5$; $FeAl_6$

$h_{cp} = 16 \text{ мкм}$

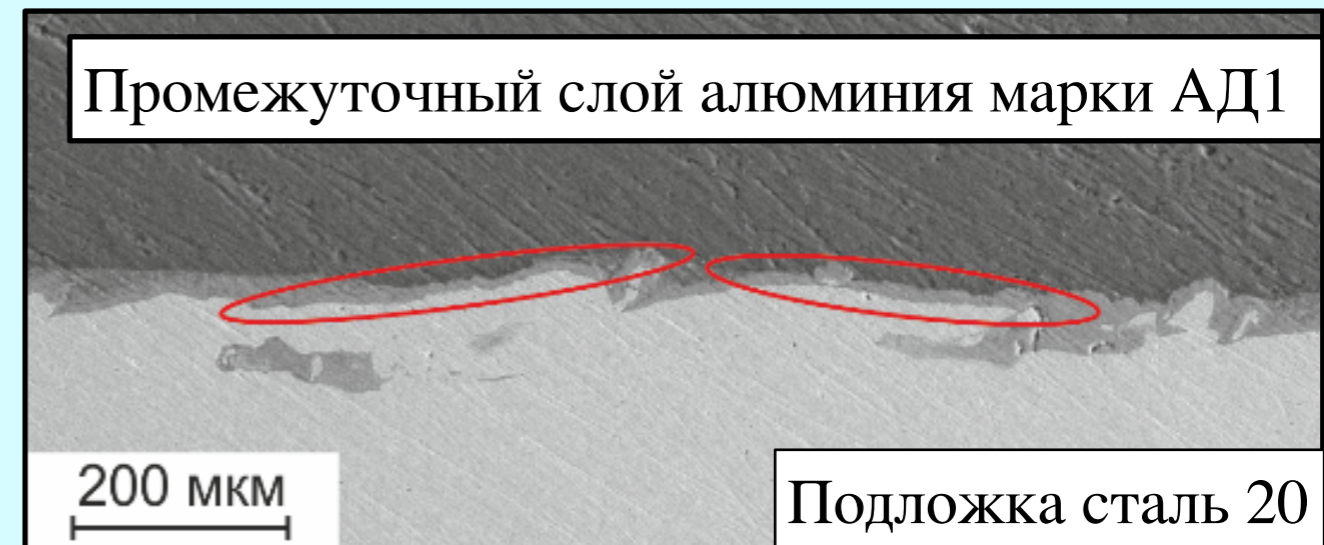
Микроструктура интерметаллидного слоя на границе подложка - промежуточный слой

Образцы, изготовлены процессом наплавки с частичным проплавлением полученного сваркой взрывом промежуточного слоя.

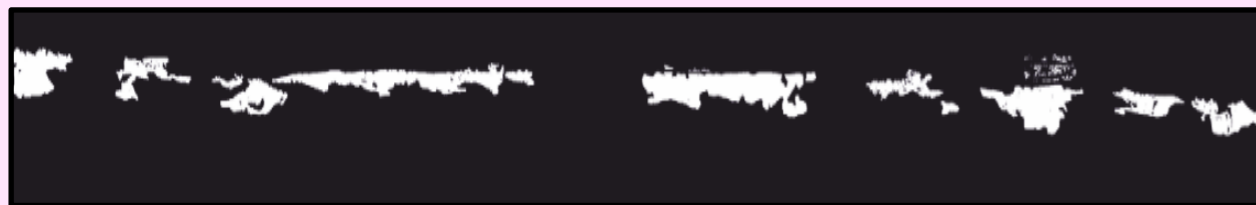
ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ



ПОСЛЕ НАПЛАВКИ

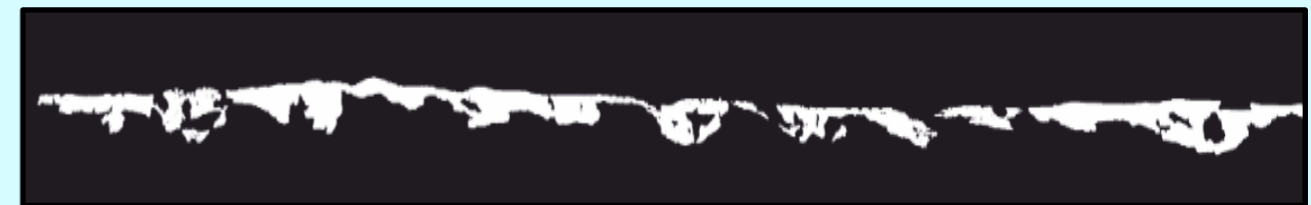


*Монохромное изображение границы раздела образцов:
(средняя протяженность свободных от интерметаллидов зон - S_{cp})*



$$S_{cp}=20\%$$

$$h_{cp}=16 \text{ мкм}$$
$$h_{min}=5 \text{ мкм}; h_{max}=30 \text{ мкм}$$



$$S_{cp}=5\%$$

$$h_{cp}=16 \text{ мкм}$$
$$h_{min}=6 \text{ мкм}; h_{max}=30 \text{ мкм}$$

Испытания наплавленных покрытий из КМ на трение и износ

«ВТУЛКА ПО ДИСКУ»

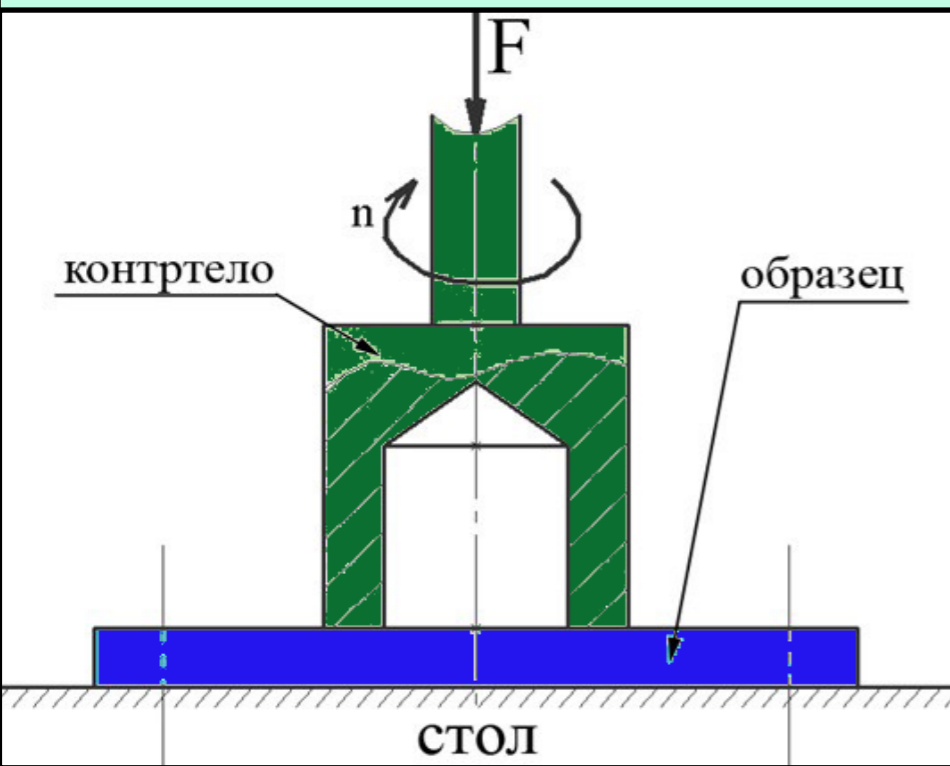


Схема нагружения и параметры испытаний

Параметр	Значение
схема нагружения «ВТУЛКА ПО ДИСКУ»	
Осевая нагрузка (F), Н	от 18 до 215
Удельное давление (p), МПа	от 0,2 до 2,56
Частота вращения (n), об/мин	540
Окружная скорость (V), м/с	0,39
Напряженность работы (pV), МПа м/с	от 0,08 до 1,0
Длительность испытания при каждой нагрузке (t), с	600
Характеристика контртела	Сталь 40Х (HRC≥45)

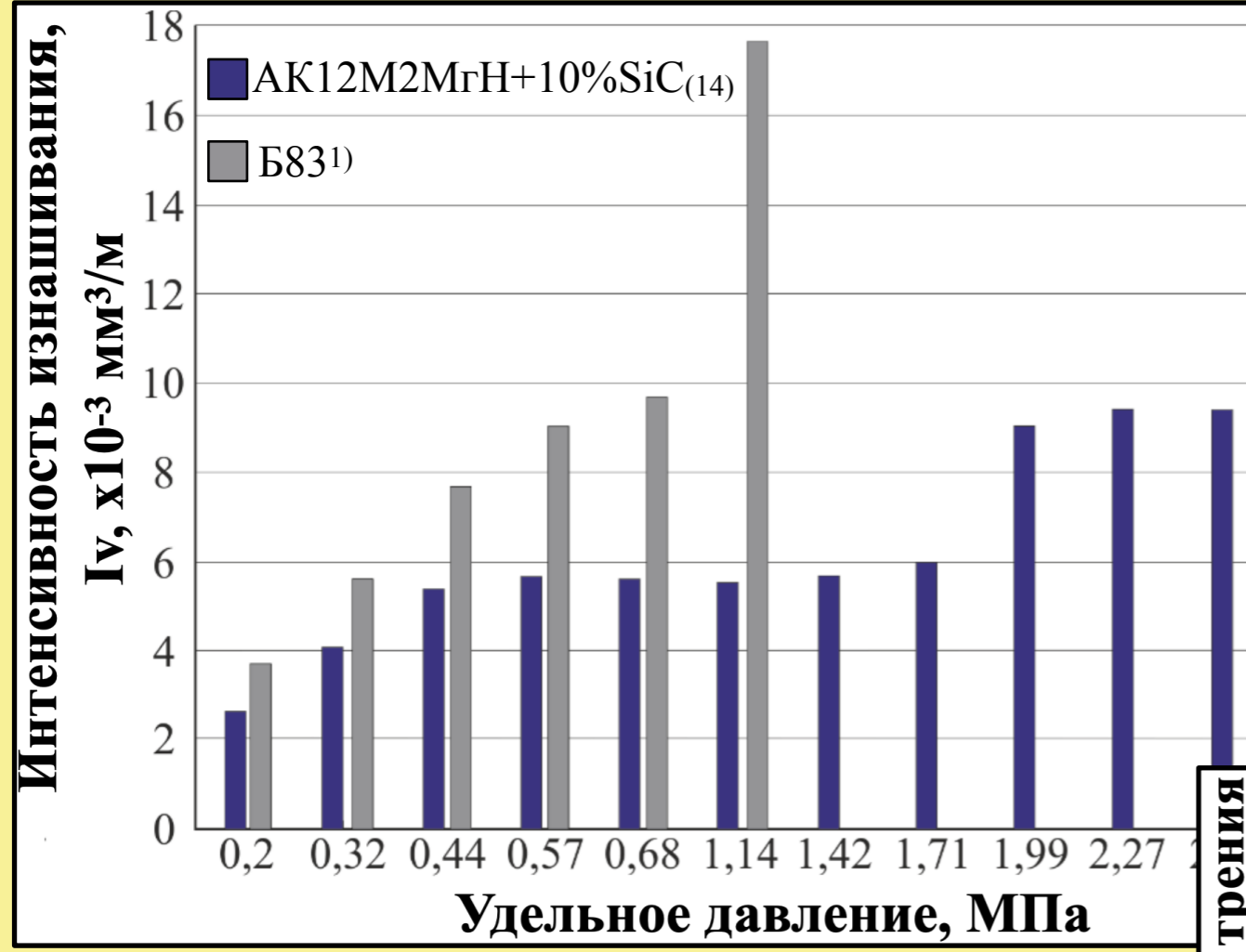
Контролируемые параметры

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

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

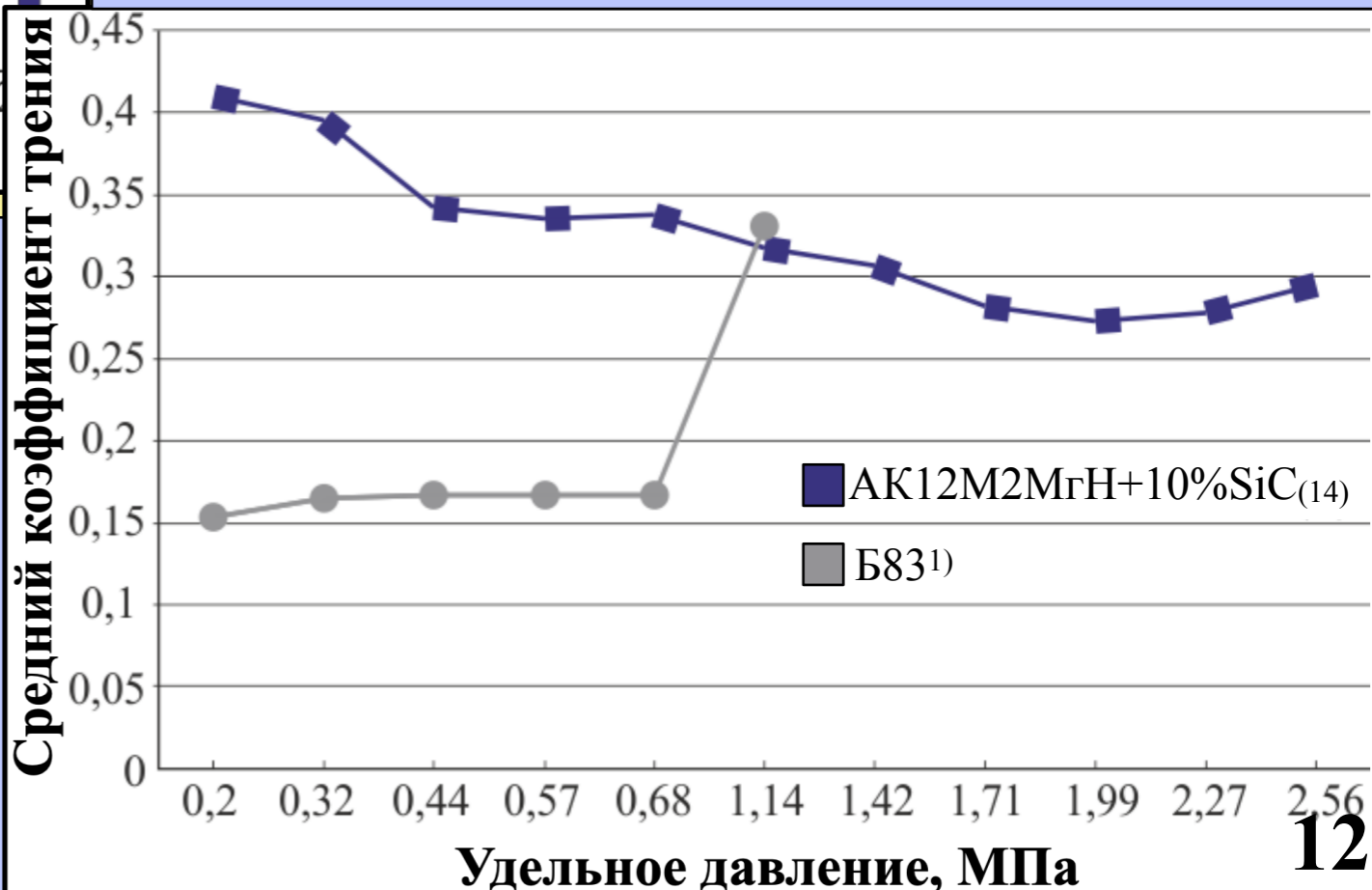
где Δm - изменение массы образца; ρ - плотность образца; L - путь трения; F – осевая нагрузка; M – момент трения; R_{cp} - средний радиус втулки.

Результаты испытаний на трение и износ наплавленных покрытий из КМ



Влияние удельного давления на интенсивность изнашивания

Влияние удельного давления на средний коэффициент трения

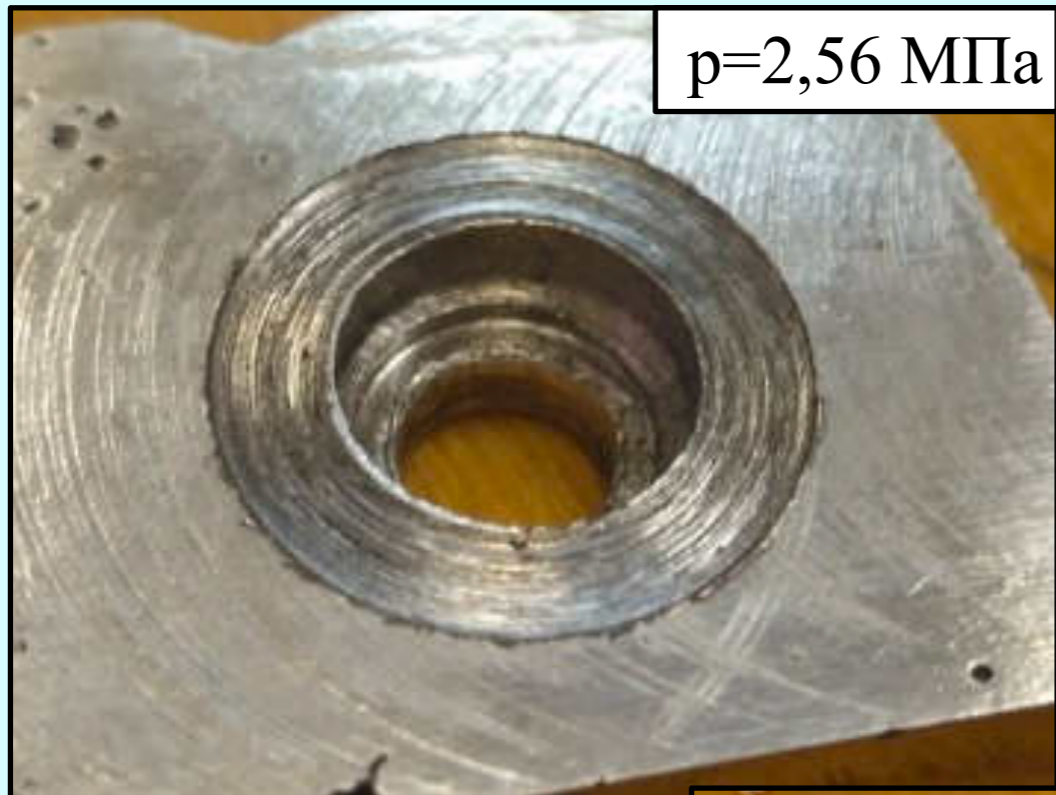


¹⁾ Промышленный биметаллический образец из стали 20 (ГОСТ 1050) с покрытием из сплава баббита марки Б83 (ГОСТ 1320).

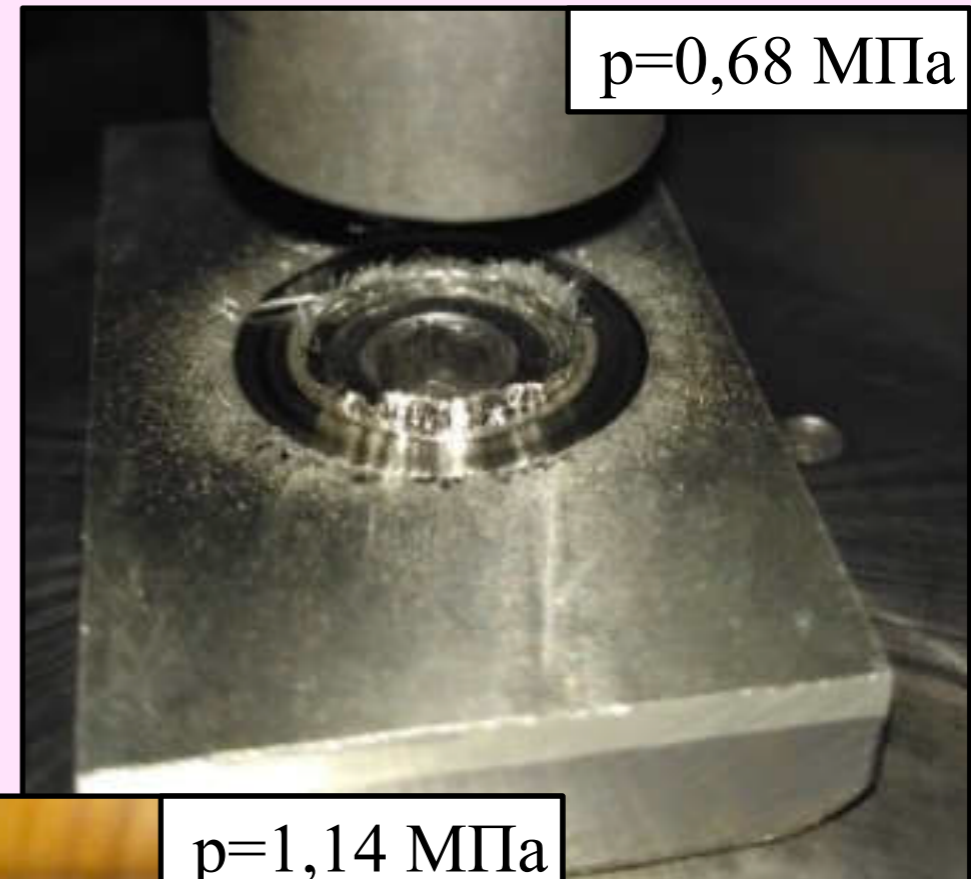
Результаты испытаний на трение и износ наплавленных покрытий из КМ

Внешний вид образцов после испытаний на трение и износ:

образец с покрытием из КМ состава:
АК12М2МГН + 10 масс.% SiC₍₄₀₎.



образец с покрытием
из баббита Б83 (ГОСТ 1320).



Выводы:

1. Изготовлены перспективные функционально-организованные сталеалюминиевые слоистые композиции триботехнического назначения, представляющие собой стальное основание (сталь 20 по ГОСТ 1050), промежуточный слой алюминия (АД1 по ГОСТ 4784) сформированный процессом сварки взрывом, а также рабочее функциональное покрытие из алюмоматричного дисперсно-упрочненного композиционного материала, сформированное процессом дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе.
2. Показано, что в процессе дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе на границе раздела сталь-алюминий в местах отсутствия интерметаллидов образуется сплошной слой толщиной до 6 мкм, состоящий из соединений Fe_2Al_5 . Результатом этого является уменьшение средней протяженности зон, свободных от интерметаллидов, с 20 до 5% от общей площади соединения.
3. Результаты испытаний на трение и износ показали, что применение изготовленных функционально-организованных сталеалюминиевых слоистых композиций в узлах трения скольжения позволит расширить диапазон трибонагружения, а также уменьшить до 50% интенсивность изнашивания по сравнению с биметаллическими материалами из стали 20 с покрытием из баббита Б83.

**Благодарю
за внимание!**