



Институт физики металлов имени М. Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук

ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Анастасия Николаевна Петрова¹,

И. Г. Бродова¹, С. В. Разоренов², И. Г. Ширинкина¹, Е. В. Шорохов³, К. В. Гаан³

¹Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

²Федеральный Исследовательский Центр Проблем Химической Физики и Медицинской
Химии РАН, г. Черноголовка

³РФЯЦ ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск



Синтез металл-графеновых композитов

Смесь хлоридов
щелочных металлов

Углерод содержащий
прекурсор

Навеска металла

Солевой электролит- смесь хлоридов цезия и натрия, либо хлоридов натрия и калия

Нагрев и
выдержка при
температуре

Порошок D – глюкозы

Технический алюминий, Al-2.9% Mg, Al-1.2%Mn

Литье в тигель и
охлаждение
слитка



Равномерно-распределенные пленки графена в алюминиевой матрице

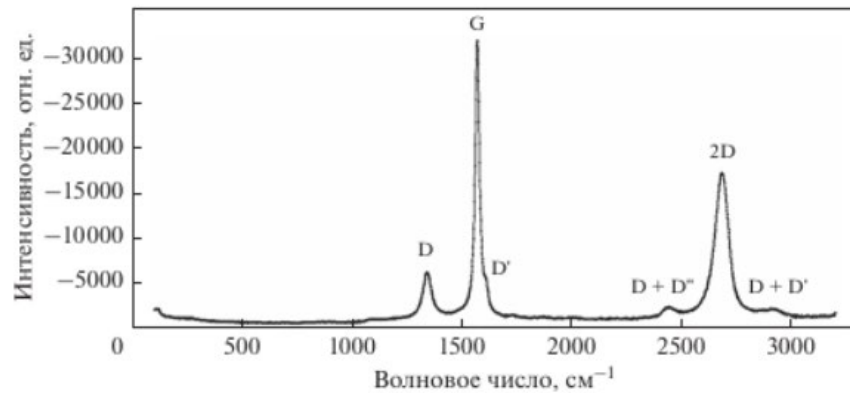
Елшина Л.А., Мурадымов Р.В. “Способ синтеза металл-графеновых нанокомпозитов”
Патент РФ № 2623410. Опубл. 25.01.2017.



Аттестация структуры композитов

AlGr

Рамановская спектроскопия



Характерные пики:

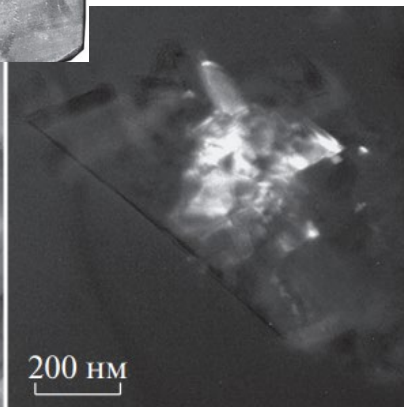
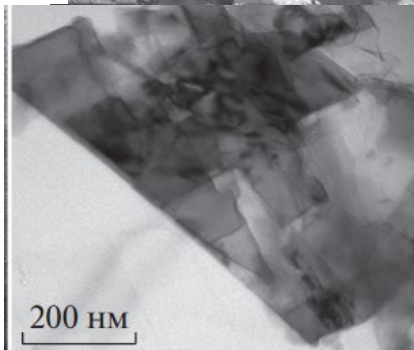
G – на 1570 см^{-1} , D – 1343 см^{-1} , 2D – 2703 см^{-1}

аллотропная модификации углерода, находящегося в sp^2 -гибридизированном состоянии.

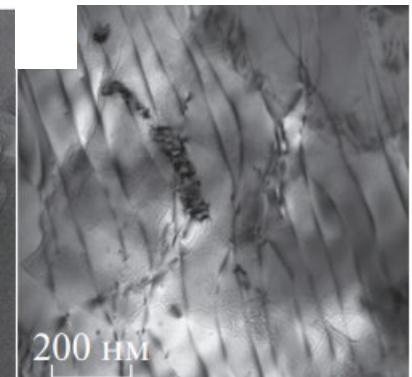
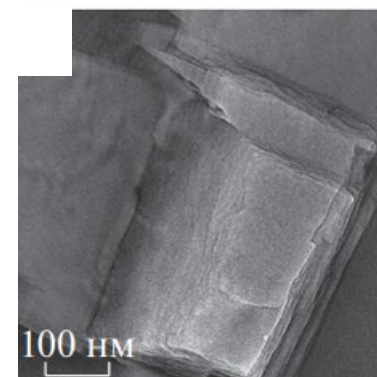
D + D'' и D + D' – многослойный графен

Соотношение интенсивностей линий 2D и G - 0.52 - образовался трехслойный графен

Соотношение пиков D и G - 0.2 - образовался качественный, бездефектный графен

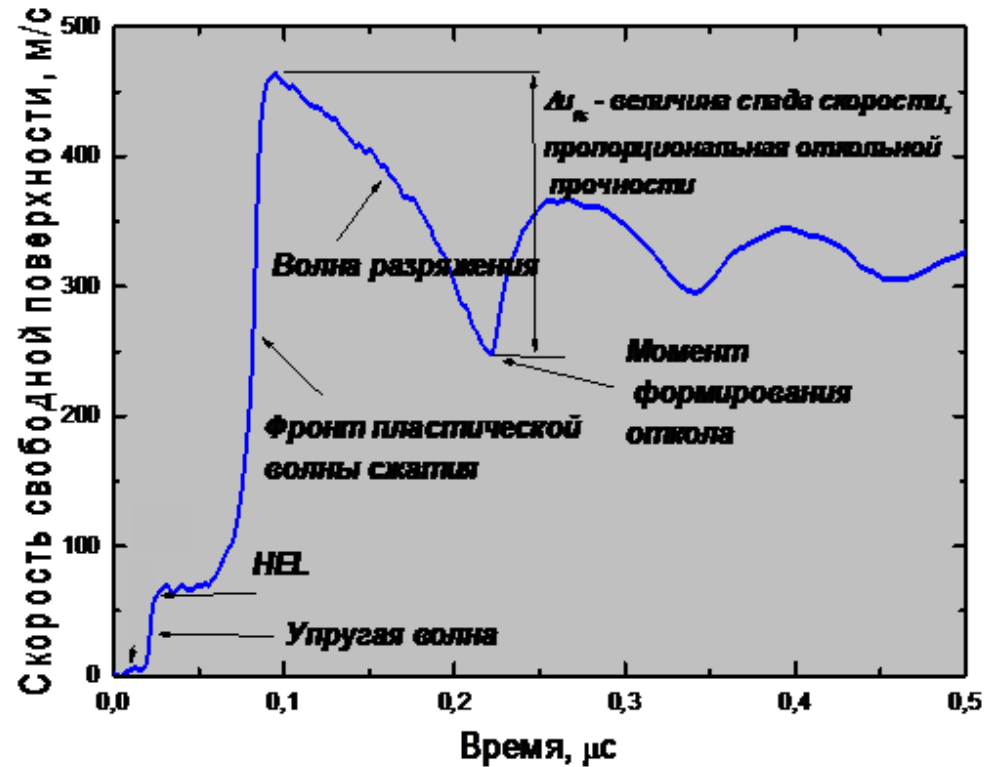
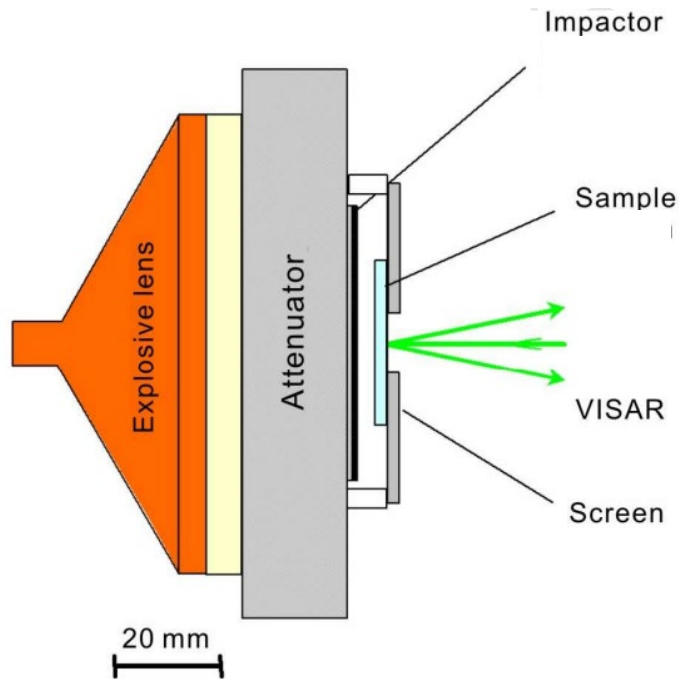


Темнопольное изображение в рефлексе (100) графита/графена





Влияние концентрации графена на динамические механические характеристики



Предел упругости Гюгонио:

$$\sigma_{HEL} = \rho_0 c_l u_{fsHEL} / 2$$

Динамический предел текучести:

$$\gamma = \sigma_{HEL} (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$

ν -коэффициент Пуассона

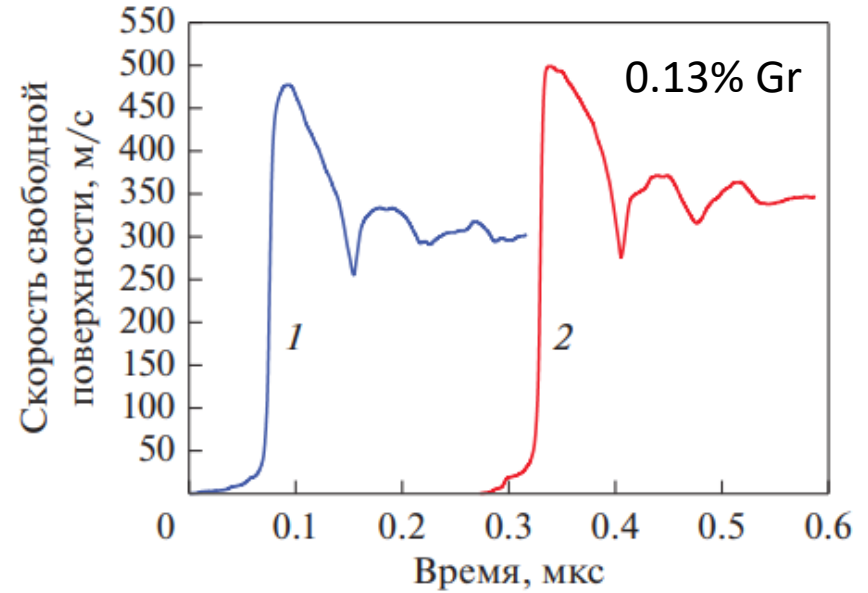
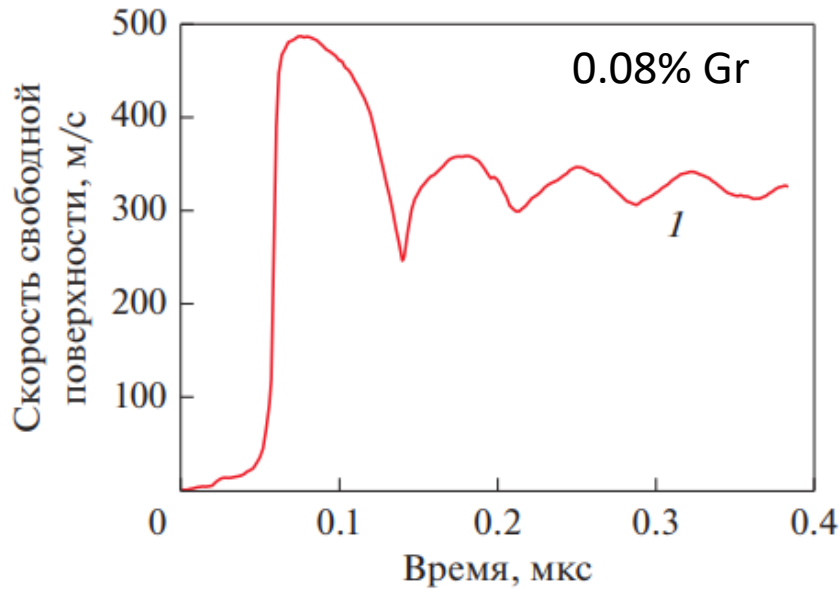
Откольная прочность:

$$\sigma_{sp} = \rho_0 c_b (\Delta u_{fs} + \delta) / 2$$



$$\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(r) \Psi = \epsilon \Psi$$
$$\Psi_{\text{вк}}(r + \lambda, \vec{a}_i) = \Psi_{\text{вк}}(r)$$

Влияние концентрации графена на динамические свойства AlGr композита



Мас. % графена	σ_{HEL} , МПа	Y , МПа	σ_{sp} , ГПа
0.08	112	49	1.94
0.13	150	65	1.85



34%

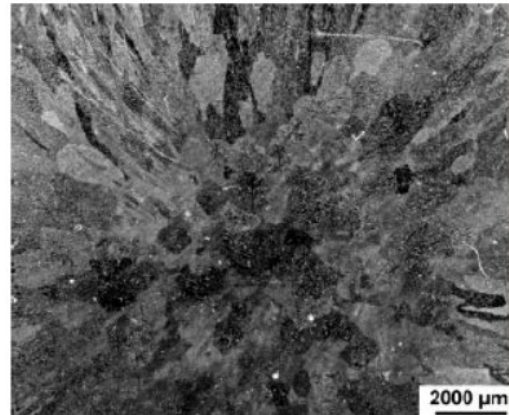
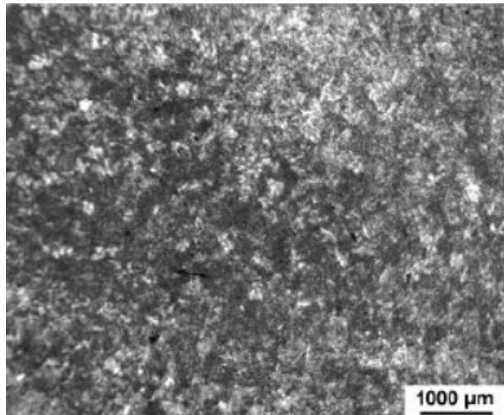


32%



Структура композитов с графеном на основе алюминиевых сплавов

Матрица Al-2.9% Mg-Gr, Al-1.2%Mn-Gr

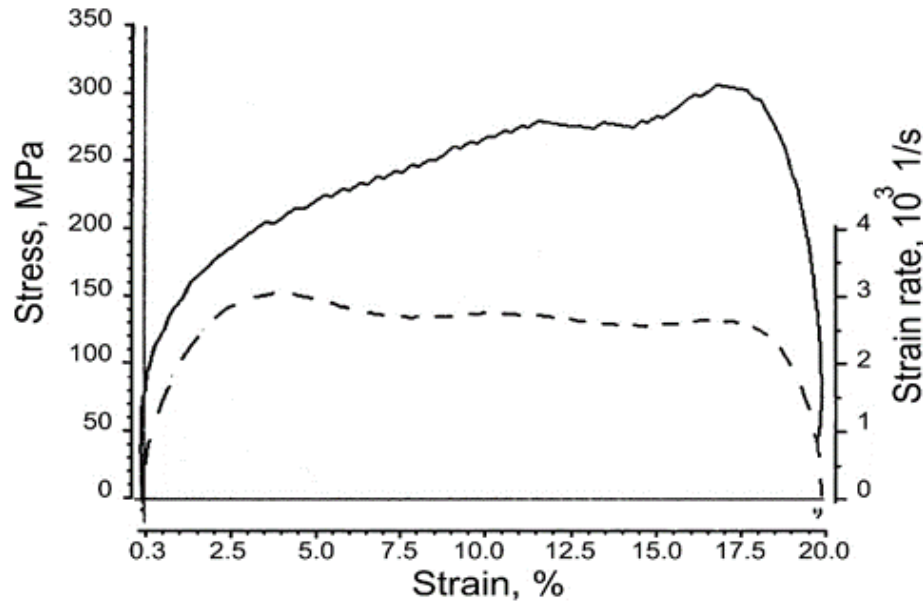


Размер зерна 1000-1500 мкм

Matrix composition	HB	
	Without graphene	With graphene
Al	15	17
AlMg	62	64
AlMn	28	30



Влияние графена на динамические свойства в условиях сжатия при скорости деформации $1.3 - 4.7 \times 10^3 \text{ c}^{-1}$



Относительное сжатие -35-45%.

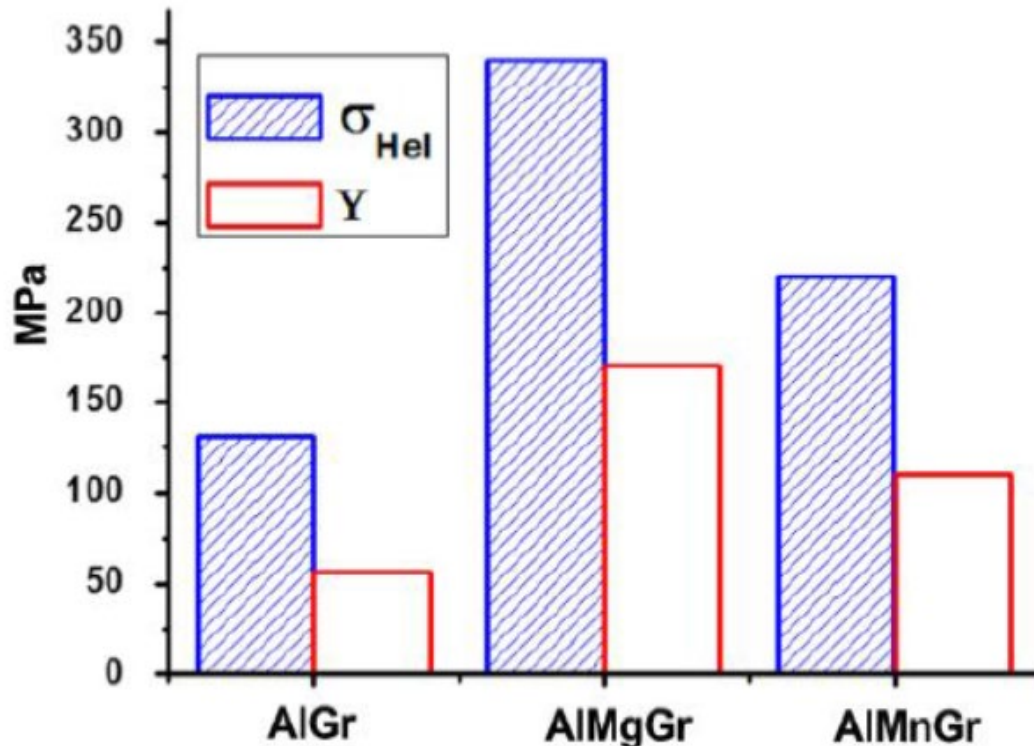
AlGr – свойства, как у алюминия без графена
 σ_T - 57 МПа, σ_B -127 МПа.

AlMgGr – повышение свойств на 5-8% относительно AlMg сплава



Динамические свойства при нагружении плоскими ударными волнами Влияние легирования

$$\dot{\epsilon} = 2.4 \times 10^5 \text{ с}^{-1}$$



Легирование магнием повышает σ_{HEL} в 2.6 раза с 131 до 340 МПа, Y в 3 раза с 57 to 170 МПа по сравнению с композитом на основе технического алюминия

Легирование марганцем повышает σ_{HEL} и Y в 2 раза

Откольная прочность композитов 1.1– 1.5 ГПа.



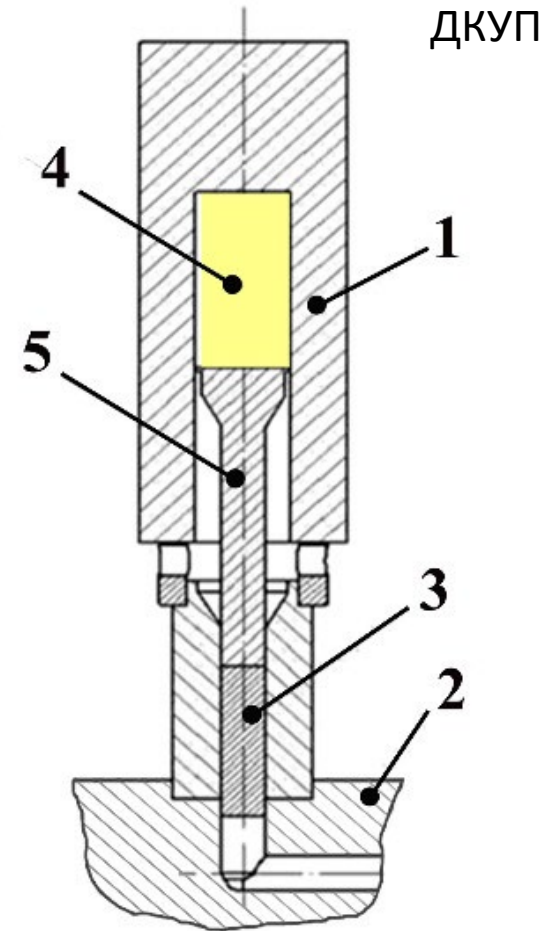
Влияние размера зерна на динамические свойства алюмоматричных композитов с графеном

Структура разной дисперсности

AlMnGr, AlGr

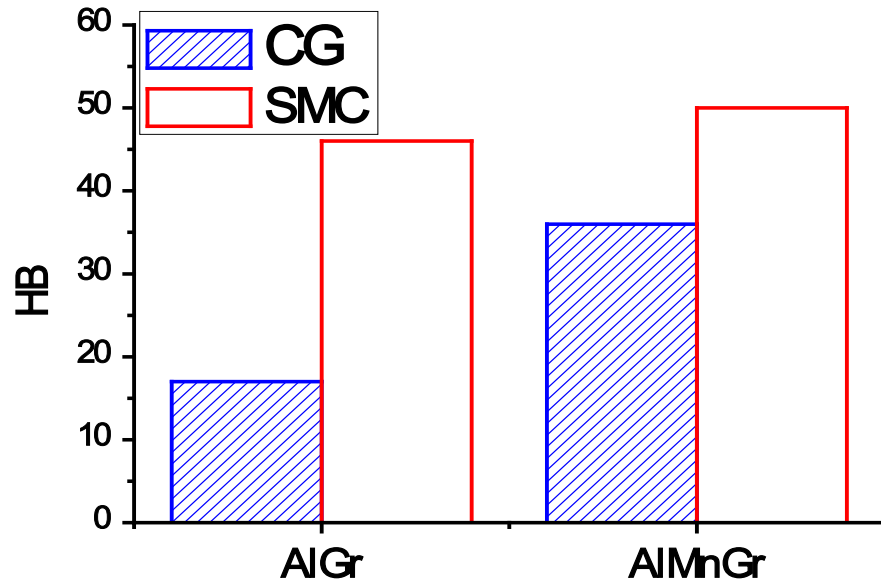
Ультра-мелко зернистая структура
методом динамического канально-углового прессования
Размер зерна менее 1 мкм

Крупно зернистая структура литых композитов
Размер порядка 1000-1500 мкм





Влияние размера зерна на твердость композитов и их прочностные свойства

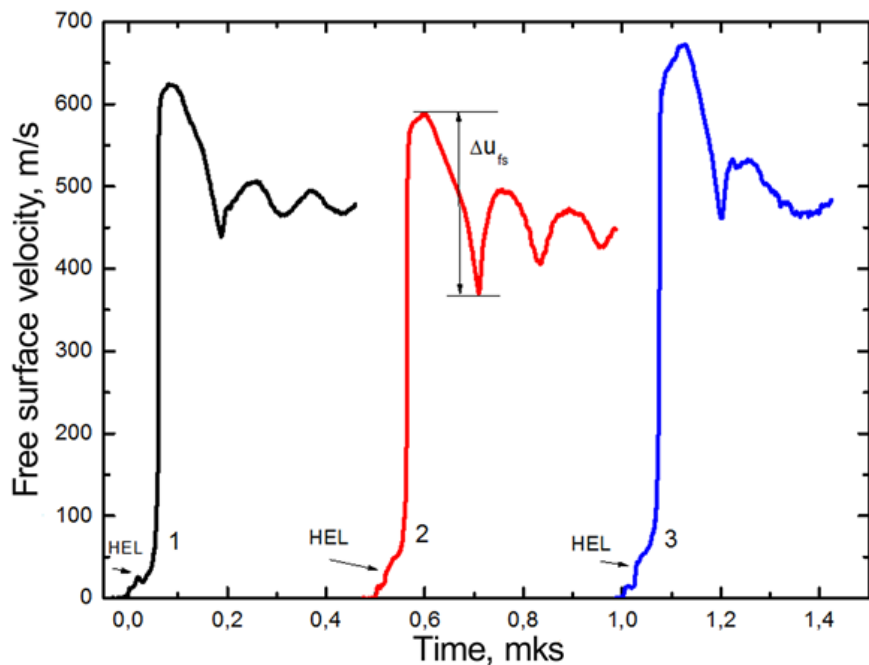


Композиты, получены методом ДКУП
Размер зерна менее 1 мкм

Твёрдость композитов зависит от состава и структурных характеристик. Сравнение твёрдости композитов с крупнозернистой и ультра-мелко зернистой структурой показывает, что измельчение структуры приводит к увеличению твёрдости в 1.6 и 2.6 раза для композитов AlMnGr и AlGr соответственно.



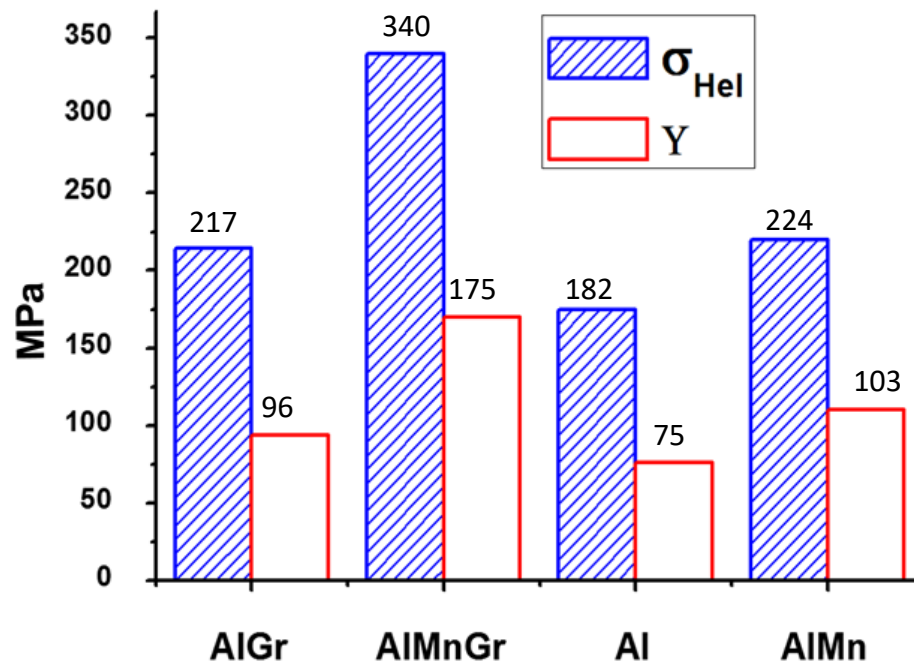
Влияние размера зерна на твердость композитов и их прочностные свойства



Волновые профили : 1 - УМЗ AlGr;
2 –КЗ AlMnGr; 3- УМЗ AlMnGr.

AlMnGr, AlGr

Композиты, получены методом ДКУП
Размер зерна менее 1 мкм



Сравнение упруго-пластических свойств УМЗ Al со свойствами УМЗ AlGr композита показало, что добавка 0.1% графена упрочнила материал и повысила σ_{HEL} и Y на 30 %. Свойства УМЗ AlMnGr композита относительно свойств УМЗ сплава AlMn возросли на 50 %.



Заключение

Графен не является инокулятором и не влияет на размер зерна литых алюмоматричных композитов.

Твердость литых композитов зависит от химического состава матрицы и повышается на 5-9% относительно неармированных Al сплавов.

Переход от КЗ к УМЗ состоянию вызывает резкое повышение твёрдости композитов: в 1.6 раза в композитах на основе Al-Mn сплава и в 2.6 раза в композите AlGr.

Упруго-пластические свойства алюмоматричных композитов повышаются в среднем в 1.5 раза при измельчении структуры до субмикронного уровня.

Сравнение упругопластических свойств УМЗ композитов со свойствами УМЗ материалов без графена показало, что добавка графена в количестве 0.1-0.13 вес.% упрочняет материал и вызывает рост σ_{HEL} и Y - на 30-50% в зависимости от химического состава матрицы.