

# ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ ЧИСТОТЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО УРАНА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЕГО ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.В. Ольховский, Е.А. Козлов, Д.П. Кучко, А.Е. Ширококов, С.А. Бричиков

ФГУП “РФЯЦ – ВНИИТФ имени академика Е.И.Забабахина”, 456770, г. Снежинск, Челябинская область, Россия

# Введение:

В ранее проведенных и опубликованных работах [1-4] исследовалось влияние изменения среднего размера зерна квазистатического экструдированного нелегированного урана и его малолегированного сплава U-0,3%Mo на прочностные свойства  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$  при квазистатическом и  $Y$ ,  $\sigma_{spall}$  взрывном нагружении.

Было показано, что несмотря на увеличение в 2 раза прочностных характеристик  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_B$  при квазистатическом нагружении, благодаря уменьшению среднего размера зерна с 200-250 мкм до 1-3 мкм, значимых изменений структуры, формы и параметров упругого предвестника, а также кинетики релаксации на нем напряжений, в мелкозернистом уране и сплаве U-0,3%Mo при взрывном нагружении не выявлено.

## Цель исследования:

Получение новых сравнительных данных по откольной прочности образцов из высокочистого мелкозернистого урана, а также урана микролегированного углеродом или кремнием, при их нагружении в разных диапазонах продольных напряжений.

# Образцы и условия их ударно-волнового нагружения

Исследуемые образцы - диски  $\text{Ø}30 \times 3$  мм или  $\text{Ø}30 \times 5$  мм, изготовленные из заготовок высокочистого мелкозернистого урана (сумма массовых долей примесей составила  $22 \cdot 10^{-3}\%$ ), а также урана, микролегированного углеродом ( $84 \cdot 10^{-3}\%$ ) или кремнием ( $130 \cdot 10^{-3}\%$ ).

Нагружение образцов осуществлялось зарядом ВВ через стальной экран, изготовленный из сплава 12Х18Н10Т, с начальной толщиной 5 мм, или тонкими ударниками. В качестве генератора плоской волны использовалась линза  $\text{Ø}60$  мм или малогабаритное нагружающее устройство МНУ.

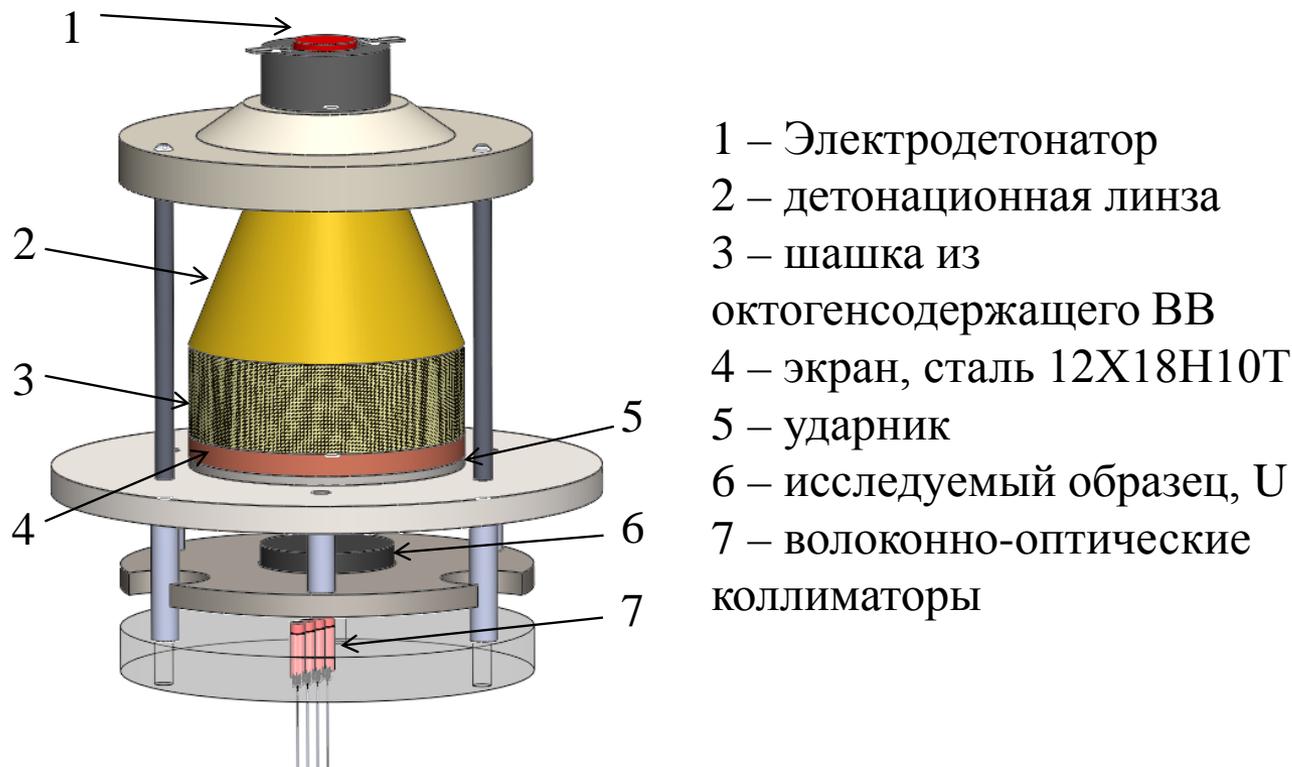


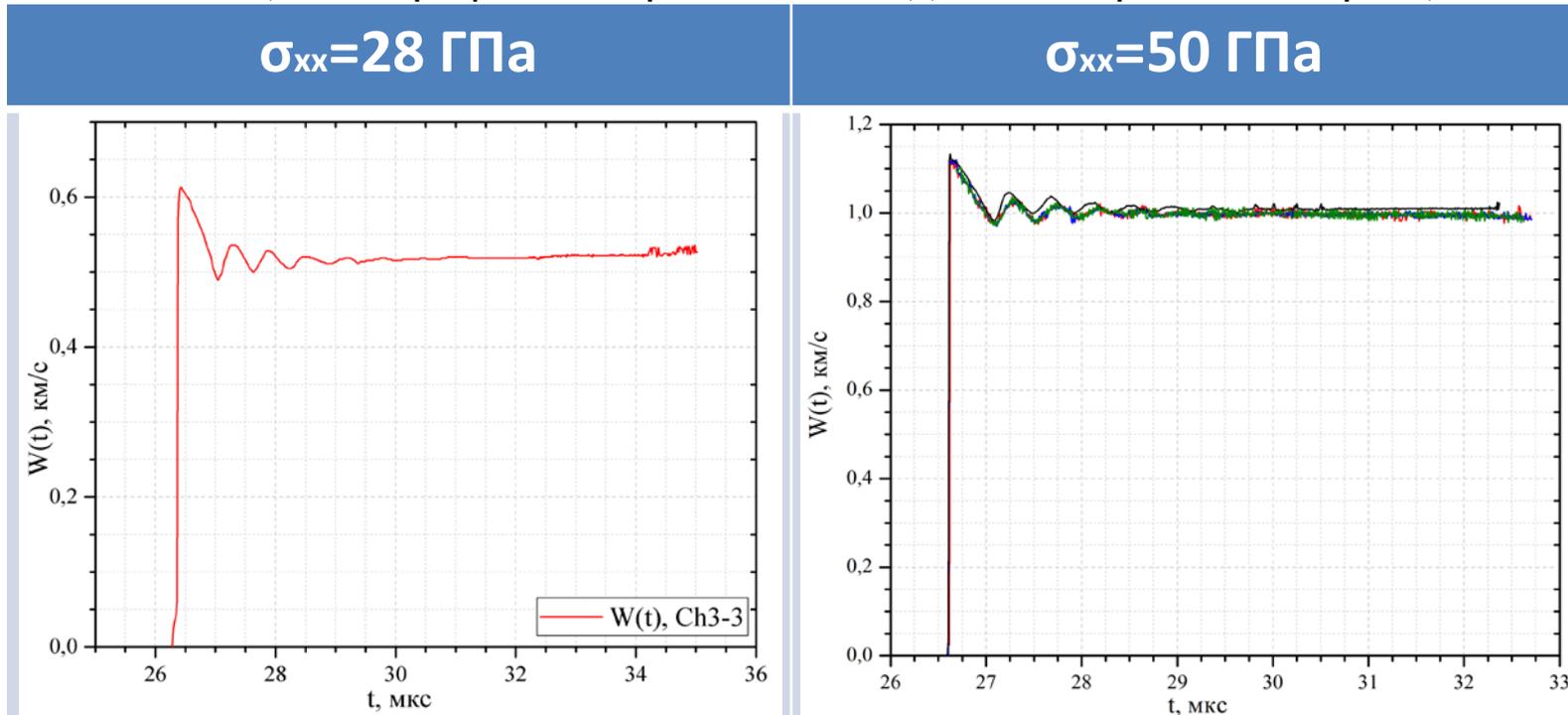
Рисунок 1 – Эскиз экспериментального узла

# Полученные результаты

Диагностика процессов осуществлялась при помощи многоканальной лазерно-гетеродинной методики (ЛГМ) предназначенной для регистрации профилей скорости  $W(t)$  зондируемых участков свободной поверхности образцов.

Первичными результатами регистрации процессов при помощи ЛГМ являются осциллограммы. Из осциллограмм по методу скользящего быстрого преобразования Фурье (SFFT) восстанавливаются спектрограммы сигналов. Профили скоростей свободной поверхности образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Профили скоростей свободной поверхности образцов.



# Сравнительные данные

Во всех образцах реализуется развитое откольное разрушение (не сомкнувшийся откол) с характерными циркуляциями волн в отколовшемся слое материала. Сравнительные данные по спаду скорости  $\Delta W$ , характеризующей способность материала сопротивляться действию растягивающих напряжений показаны в таблице.

Таблица 3 – Сравнительные данные по спаду скорости  $\Delta W \pm 2\sigma$ , км/с

	U (99.98%)	U-0.084%C	U-0.130%Si
$\sigma_{xx}$ , ГПа	17,34	17,12	17,09
$\Delta W$ , м/с	0,124±0,01	0,113±0,01	0,110±0,01
$\sigma_{xx}$ , ГПа	19,93	19,53	19,53
$\Delta W$ , м/с	0,127±0,01	0,121±0,01	0,120±0,018
$\sigma_{xx}$ , ГПа	35,83	35,80	
$\Delta W$ , м/с	0,138±0,01	0,120±0,02	

# Сравнительные данные

В таблице 4 представлены расчеты уровней откольных напряжений в приближениях Г.И. Канеля [5]:  $\sigma_{spall} = \frac{1}{2} * \rho_0 * C_v * (\Delta W + \delta)$ , где  $\delta = \frac{1}{2} * \Delta W * \left( \sqrt{\frac{3*(1-\nu)}{1+\nu}} - 1 \right)$ ,  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Таблица 4 – Абсолютные ( $\pm 2\sigma$ ) и относительные данные по откольной прочности

		U (99.98%)		U-0.084%C		U-0.130%Si
Образец Ø60×5 мм	$\sigma_{xx}$ , ГПа	17,34	35,83	17,12	35,80	17,09
	$\sigma_{spall}$ , ГПа	3,66±0,2	3,76±0,2	3,28±0,13	3,55±0,2	3,22±0,14
Образец Ø60×3 мм	$\sigma_{xx}$ , ГПа	19,93		19,53	40,34	40,50
	$\sigma_{spall}$ , ГПа	3,76±0,2		3,58±0,2	4,40±0,2	4,43±0,2

# Обсуждение результатов

На рисунке 2 представлены данные по откольной прочности высокочистого экструдированного урана, а также урана, микролегированного углеродом ( $84 \cdot 10^{-3}\%$ ) или кремнием ( $130 \cdot 10^{-3}\%$ ), полученные для данной работы.

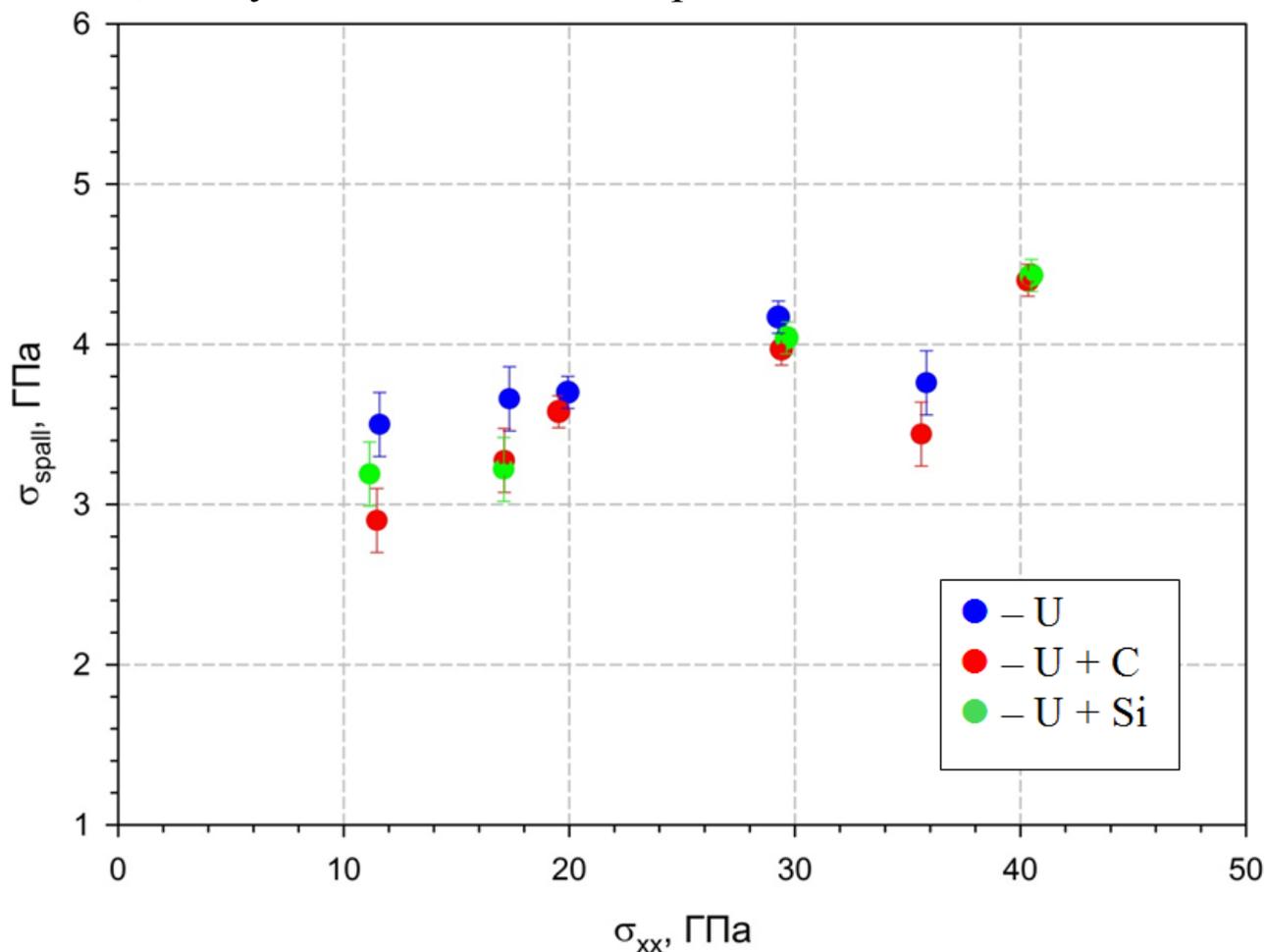


Рисунок 2 – Зависимость откольной прочности  $\sigma_{xx,spall}$  от амплитуды ударно-волнового сжатия  $\sigma_{xx}^{max}$ .

# Заключение:

1) Как и в металле технической чистоты и его малолегированном сплаве с молибденом, квазистатическое экструирование, сопровождавшееся измельчением зерна и возрастанием прочностных характеристик при низкоскоростном деформировании, значимо не проявилось при интенсивном ударно-волновом нагружении.

2) При реализованных условиях ударно-волнового нагружения отличия в величине спада скорости, при микролегировании образцов углеродом и кремнием находятся на уровне  $2\sigma$ -интервала измерений  $\Delta W$ . Отмечена тенденция к снижению откольной прочности мелкозернистого высокочистого урана при его микролегировании углеродом и кремнием.

3) Необходимо продолжение исследования влияния чистоты, размера зерна и легирования, а также технологии изготовления урана на прочностные характеристики при разных режимах ударно-волнового нагружения, для получения систематических данных по сдвиговой и откольной прочности урана.

# Литература

1. Е.А.Козлов, Д.Г.Панкратов, В.И.Таржанов, И.В.Теличко, Релаксация упругого предвестника при взрывном нагружении предварительно квазистатически экструдированного мелкозернистого нелегированного урана, ДАН, 2008, том 421, № 3, С. 332-334, [Doklady Physics (Engl. transl.), 2008, Vol. 53, No. 7, pp.368-370]
2. Е.А.Козлов, Д.Г.Панкратов, В.И.Таржанов, И.В.Теличко, Динамическая сдвиговая и откольная прочности предварительно квазистатически экструдированных мелкозернистого урана и сплава U – 0,3% Мо, ДАН, 2009, т.424, № 6, стр.769-773 [Doklady Physics (Engl. transl.), 2009, Vol. 54, No. 2, pp.88-92]
3. Е.А.Козлов, Д.Г.Панкратов, В.И.Таржанов, И.В.Теличко, Динамическая сдвиговая и откольная прочности предварительно квазистатически экструдированных мелкозернистого урана и сплава U – 0,3% Мо, ФММ, 2009, т.108, № 4, стр.424–438 The Physics of Metals and Metallography 10/2009; 108(4):401-414
4. Е.А.Козлов, С.В.Бондарчук, Ю.Н.Зуев, С.М.Новгородцев, Механизмы высокоскоростной деформации и разрушения мелкозернистого нелегированного урана при взрывном нагружении, ФММ, 2011, т.111, вып.4, стр. 428-438 [The Physics of Metals and Metallography (Engl. transl.), 2011, V. 111, No. 4, pp.410-420]
5. Г.И.Канель Искажение волновых профилей при отколе в упругопластическом теле. ПМТФ, 2001, том 42, № 2, с.194-198

Спасибо за внимание!