



ЧЕЛЯБИНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)



Физический факультет

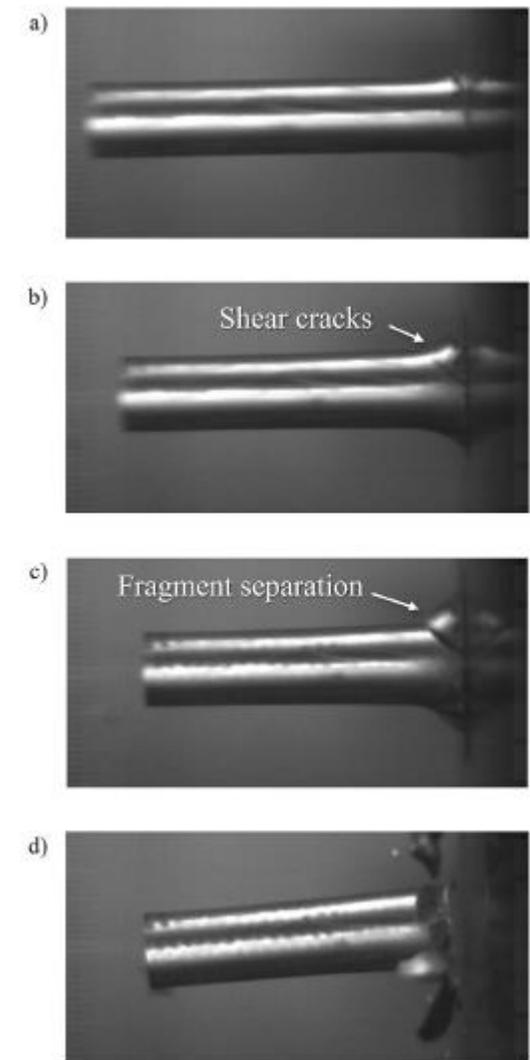
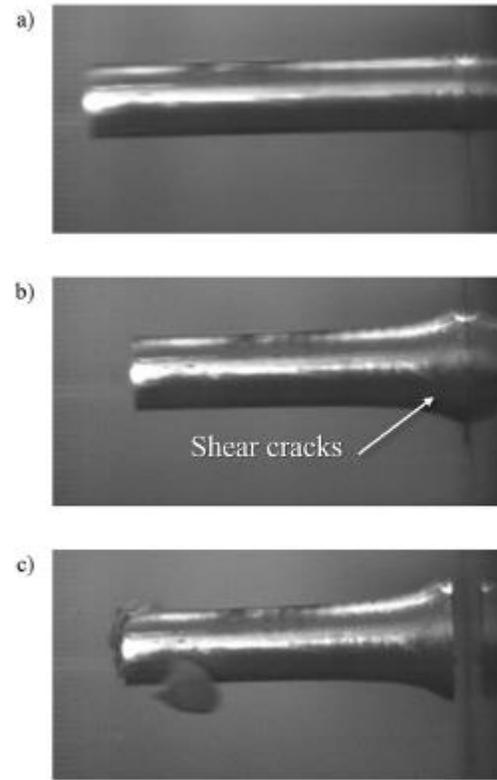
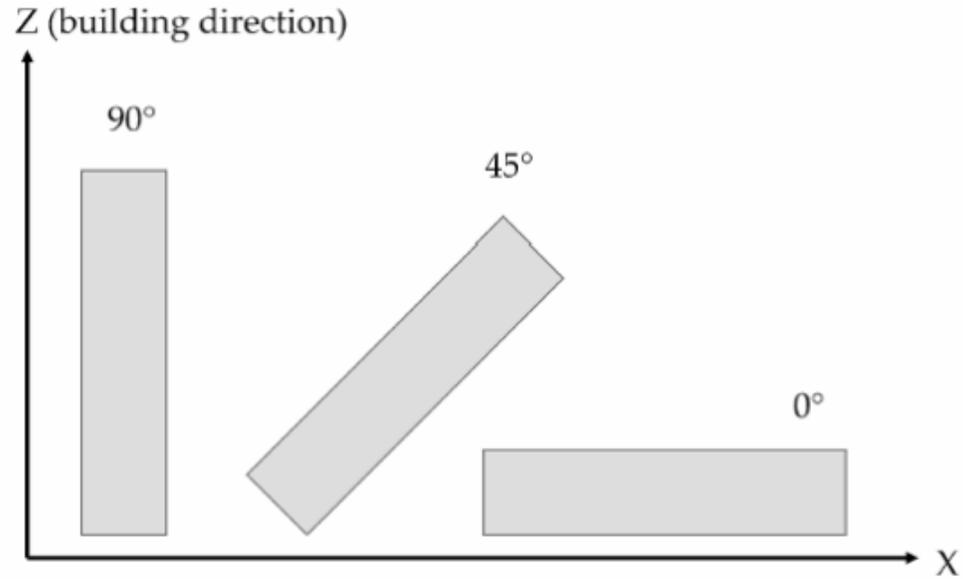
Кафедра общей и теоретической физики

Динамическая пластичность и разрушения сплавов А17075 и В95Т1

Авторы: А. Я. Черепанов, Е. С. Родионов, А. Г. Фазлитдинова, Т. Т. Султанов, В. Г. Лупанов, П. Н. Майер
и А. Е. Майер

Работа выполнена за счет проекта РНФ «Развитие моделей дислокационной пластичности и разрушения в приложении к задачам высокоскоростной обработки металлов» № 24-19-00684 (Майер П.Н.)

Актуальность



[1]. Ricci, S., Iannitti, G., Testa, G. *et al.* High-Rate Characterization of L-PBF AlSi10Mg under Impact Conditions. *J. dynamic behavior mater.* 11, 106–118 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40870-024-00435-9>

- Расширение базы экспериментальных данных о динамических свойствах материалов
- Новый метод прямой обработки экспериментальных данных

- Цель:

- Разработка и применение методики оценивания динамического предела текучести алюминиевых сплавов Al7075 и V95T1

- Задачи:

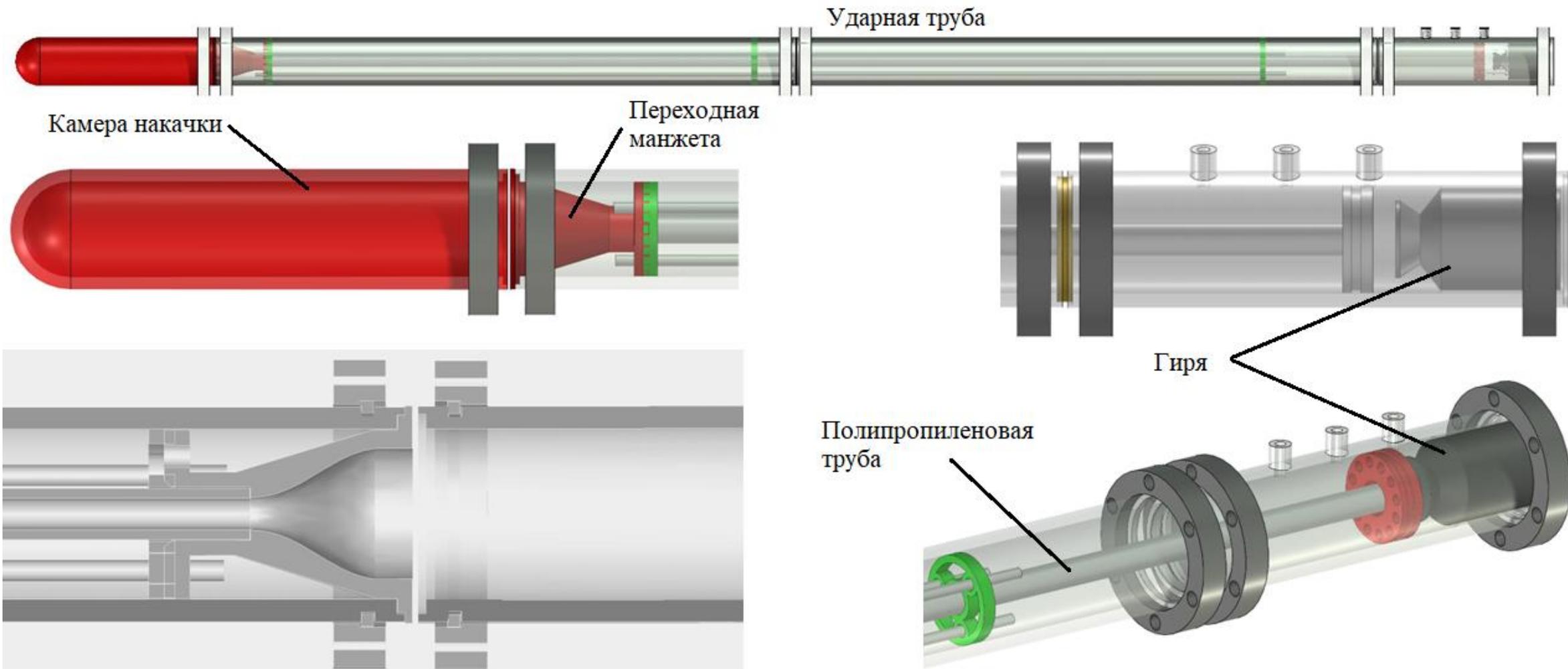
- Проведение экспериментов по высокоскоростному соударению алюминиевых ударников

- Проведение микроструктурных исследований разрушенных ударников с помощью методов электронной микроскопии (SEM)

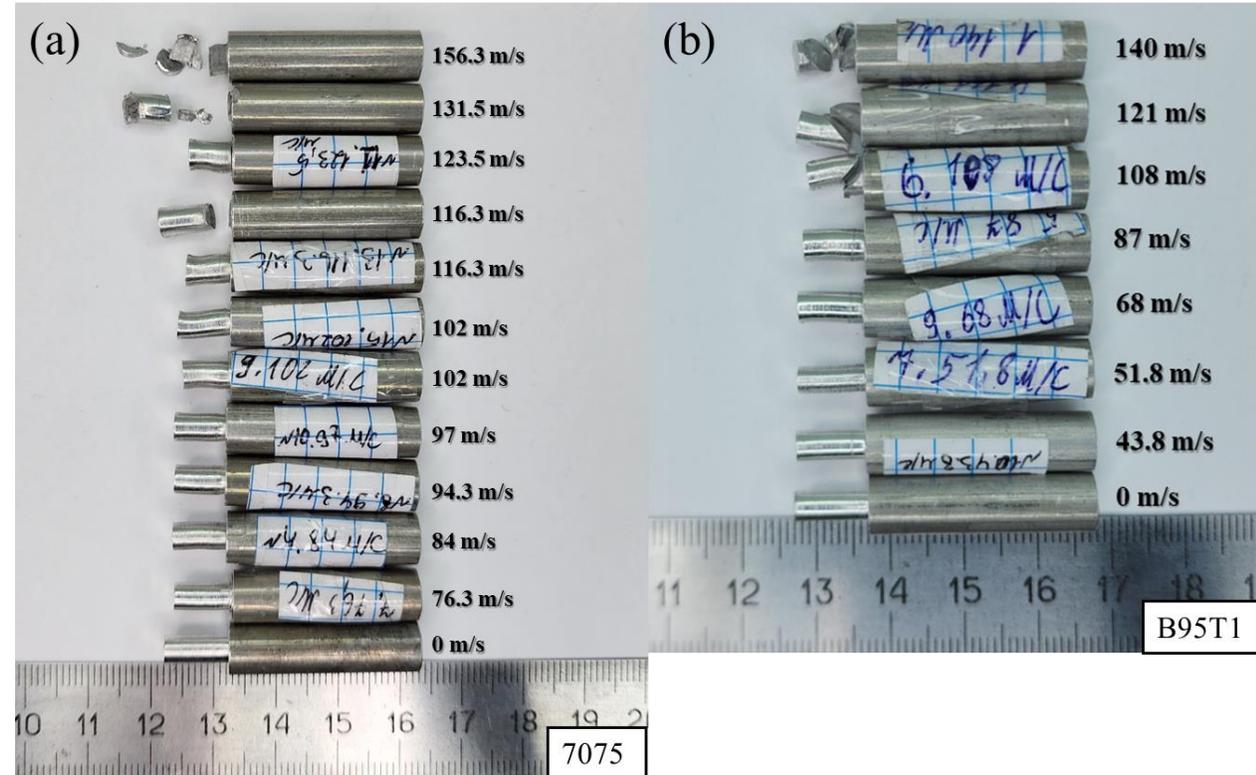
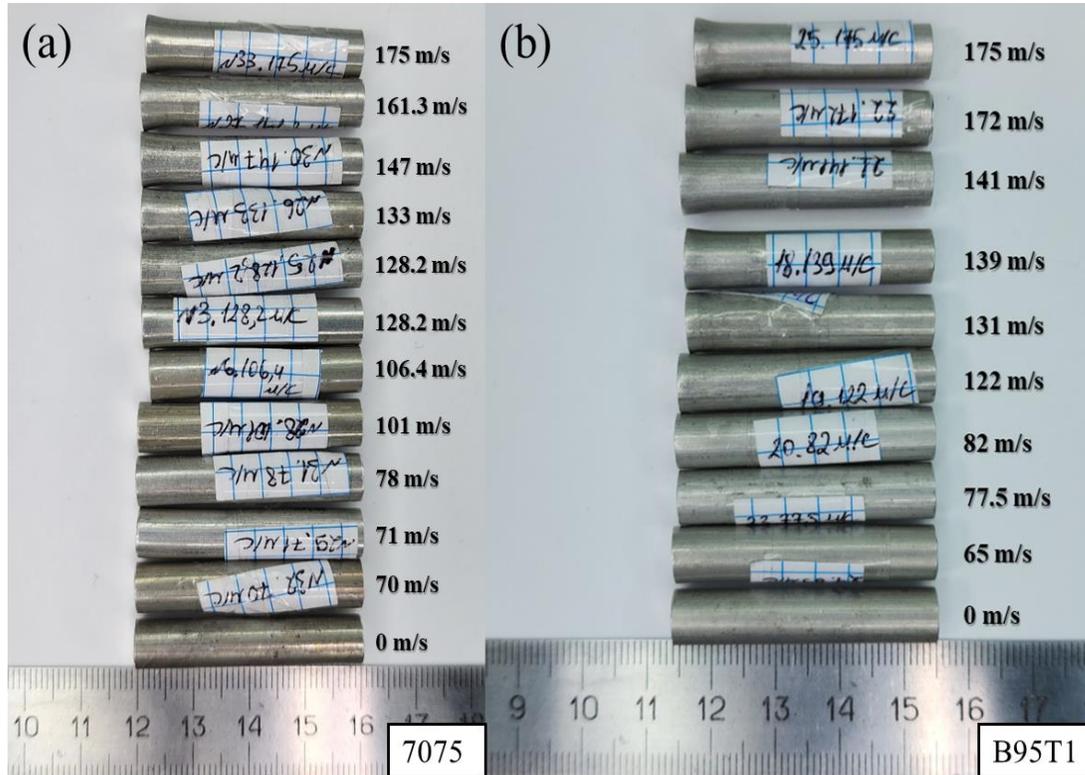
- Оценка динамического предела текучести с использованием полученных экспериментальных результатов, сравнение с литературными данными

- Сравнение пластичности и характера разрушения исследуемых сплавов

Экспериментальная установка



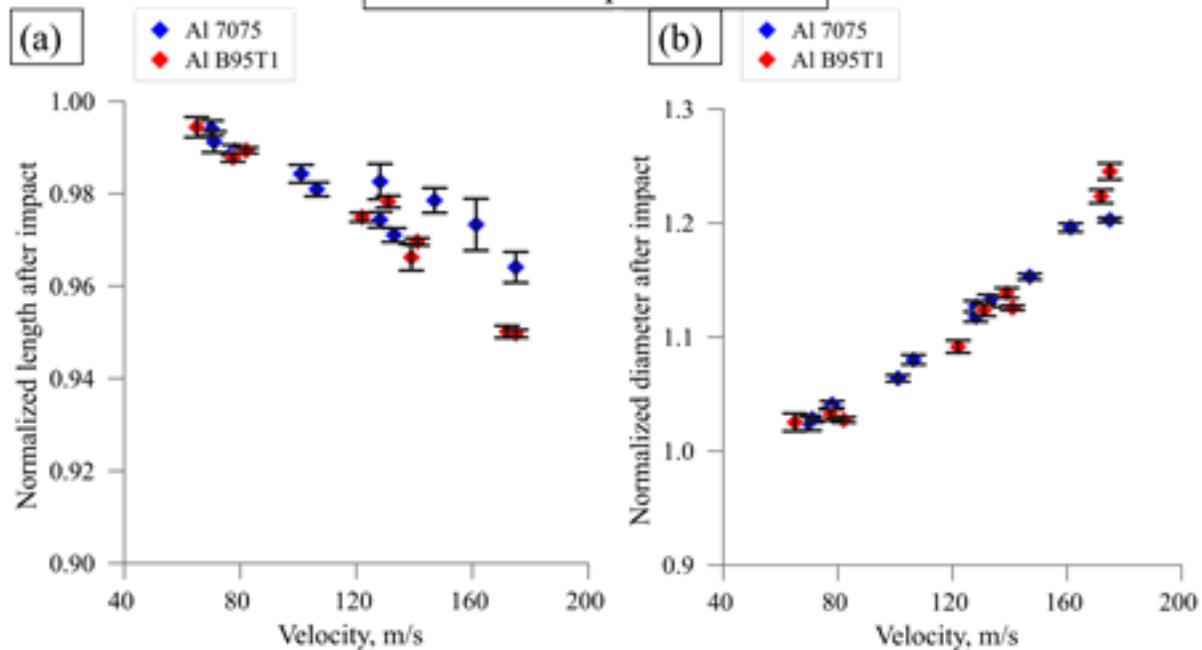
Результаты испытаний



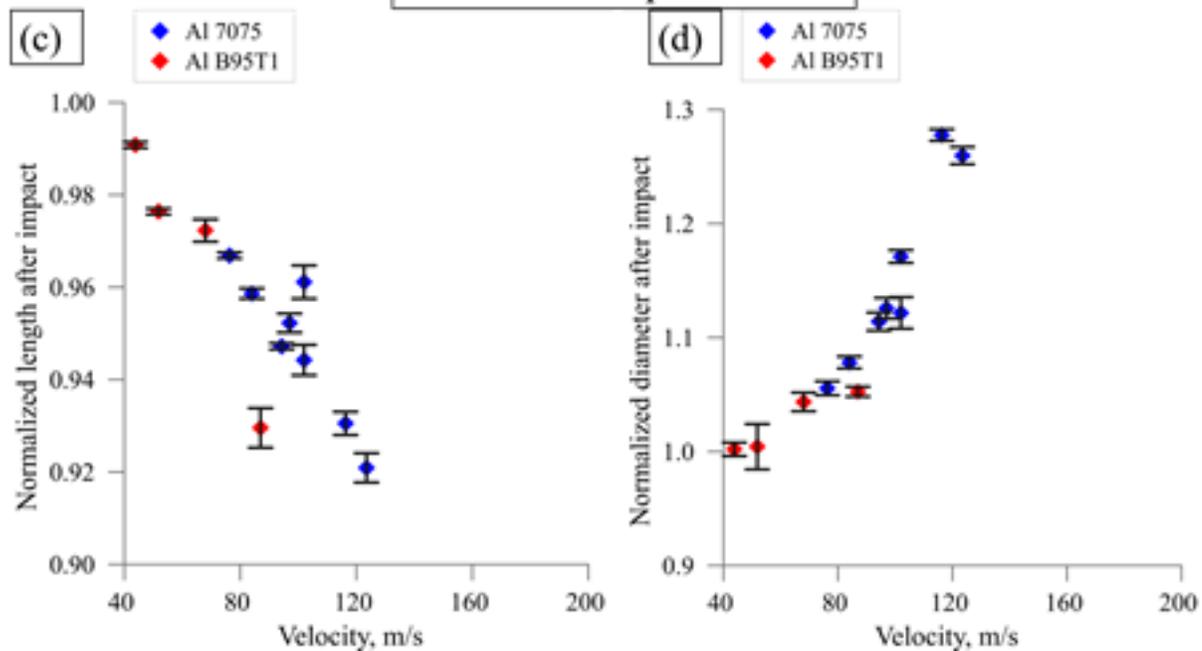
Результаты испытаний



Classic 8 mm specimen

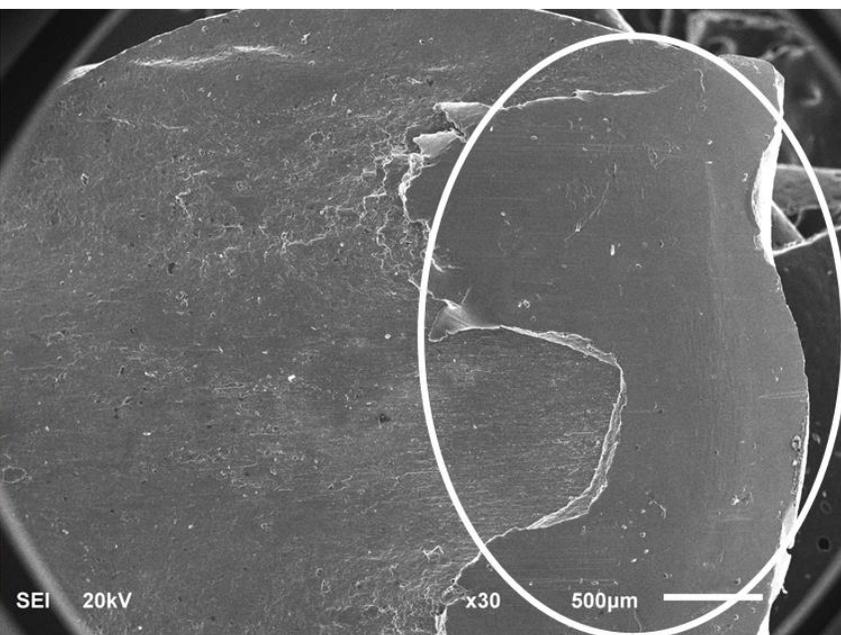


Profiled 4 mm specimen



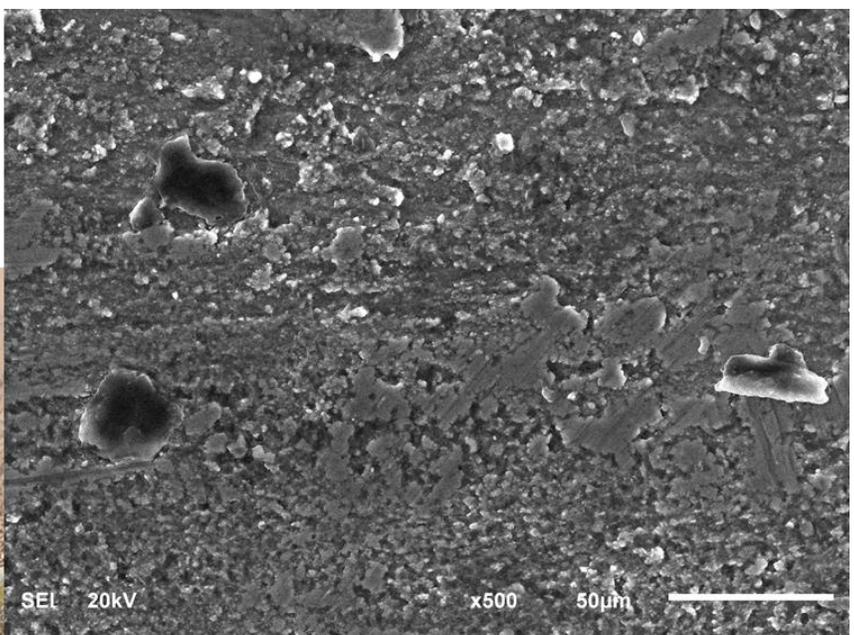
(a)

B95T1



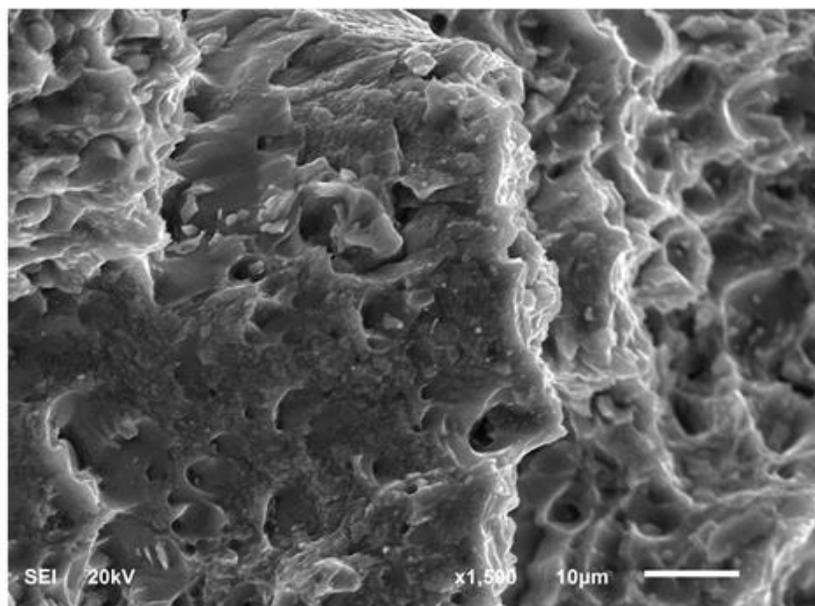
(b)

B95T1



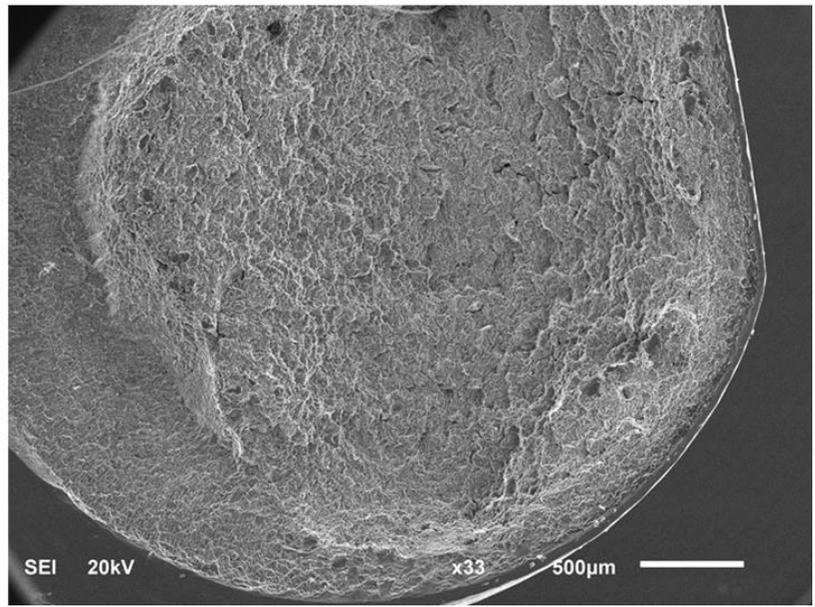
(c)

7075

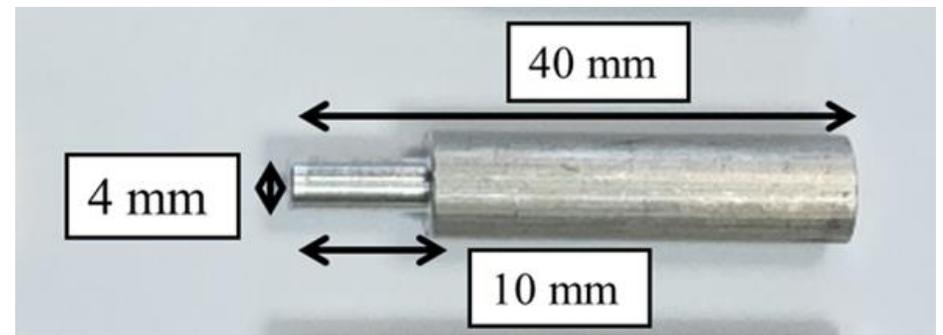


(d)

7075



Оценка предела текучести и скорости деформации для профилированных образцов



$$\bullet Y = mv_0^2 \left[2V_h \ln \left(\frac{L_{h0}}{L_{hf}} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\bullet L_h = L_{h0} \exp \left[- \frac{m(v_0^2 - v^2)}{2YV_h} \right] \quad (2)$$

$$\bullet mdv = -Y(V_h/L_h) dt \quad (3)$$

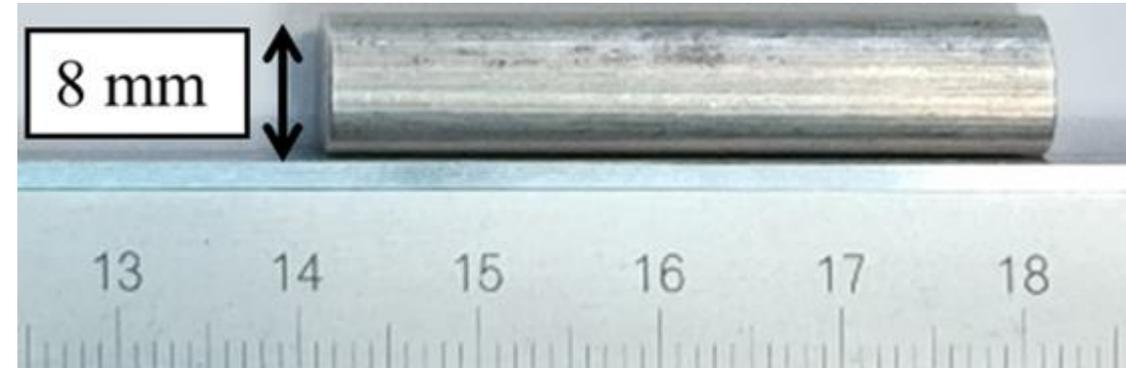
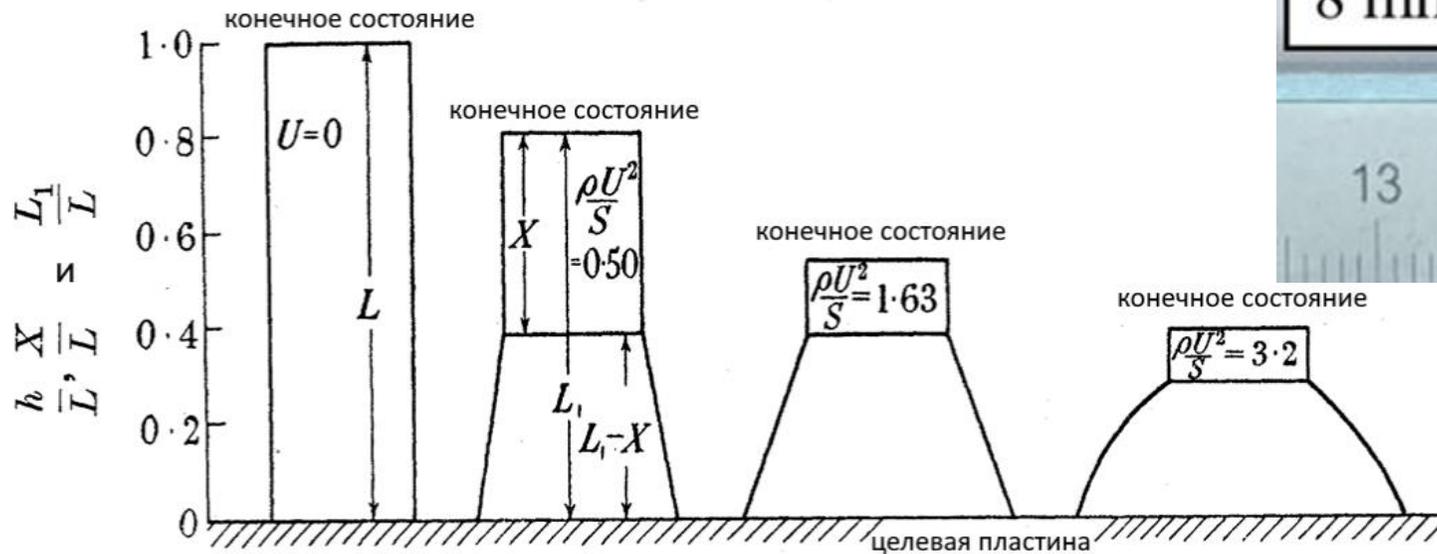
$$\bullet t_f = \sqrt{\frac{\pi}{2}} L_{h0} \sqrt{\frac{m}{YV_h}} \exp \left(- \frac{mv_0^2}{2YV_h} \right) \operatorname{erfi} \left(\sqrt{\frac{mv_0^2}{2YV_h}} \right) \quad (4)$$

• Поскольку общая техническая деформация головной части образца равна $\varepsilon_f = 1 - L_{hf}/L_{h0}$, среднюю скорость деформации можно рассчитать следующим образом:

$$\bullet \dot{\varepsilon} = \varepsilon_f/t_f = (1 - L_{hf}/L_{h0})/t_f \quad (5)$$

[2] Rodionov, E.S.; Mayer A.E. Estimation of dynamic yield stress by Taylor test with reduced cylindrical head part of samples. *Chelyabinsk Phys. Math. J.* 2023, 8(3), 399–409. <https://doi.org/10.47475/2500-0101-2023-8-3-399-409>.

Оценка предела текучести для классических 8мм цилиндров



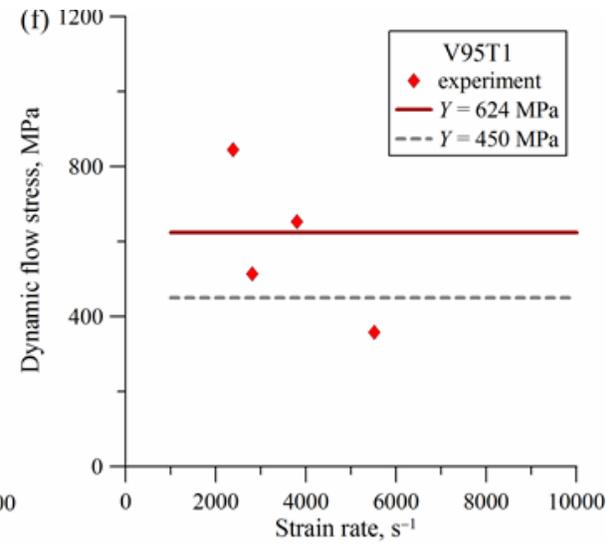
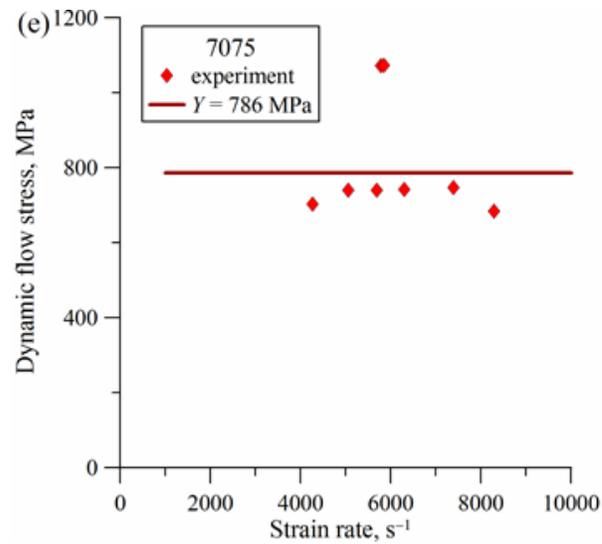
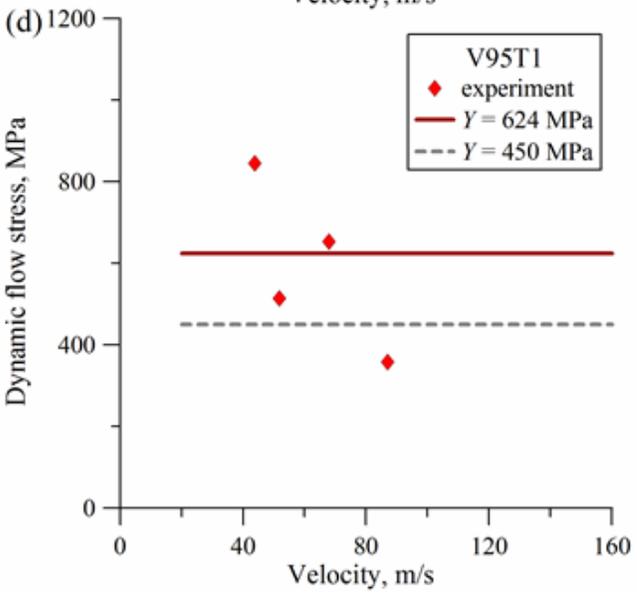
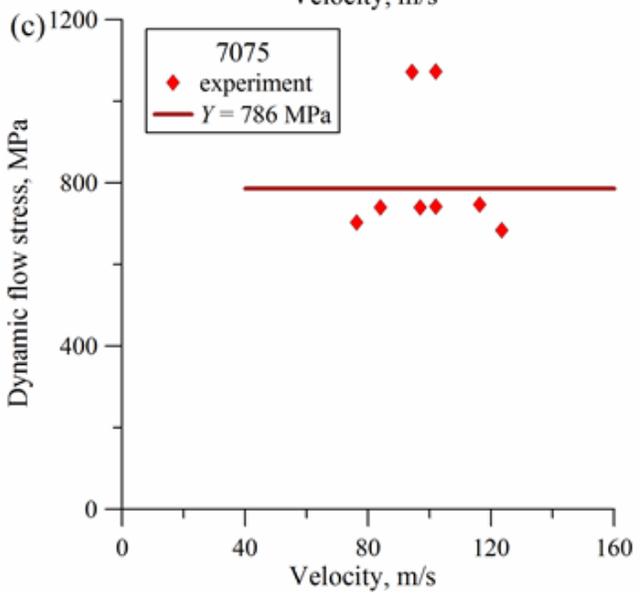
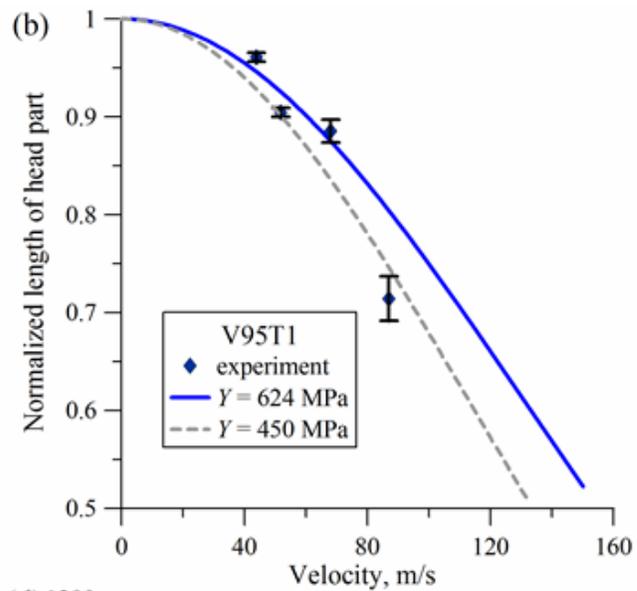
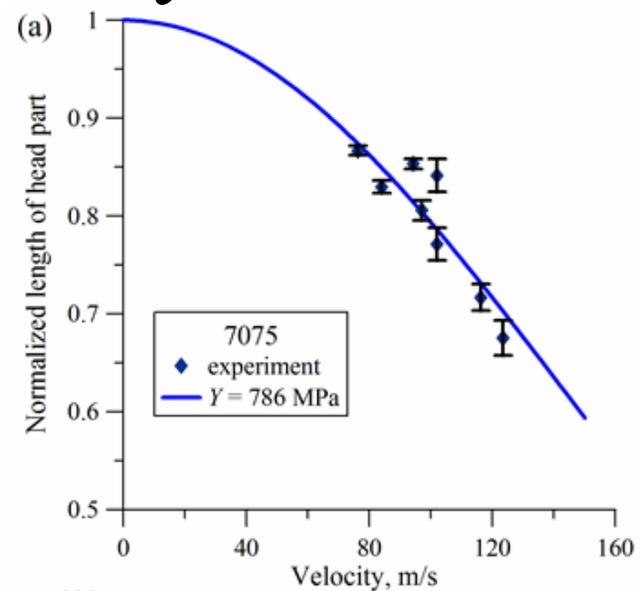
- L_f – общая длина образца после удара,
- L_0 – общая длина образца до удара,
- v_0 – скорость удара,
- ρ – плотность алюминия,
- X – длина участка, не испытавшего деформацию.

$$Y = \frac{\rho v_0^2}{2 \ln(L_0/X)} \frac{(L_0 - X)}{(L_0 - L_f)} \quad (6)$$

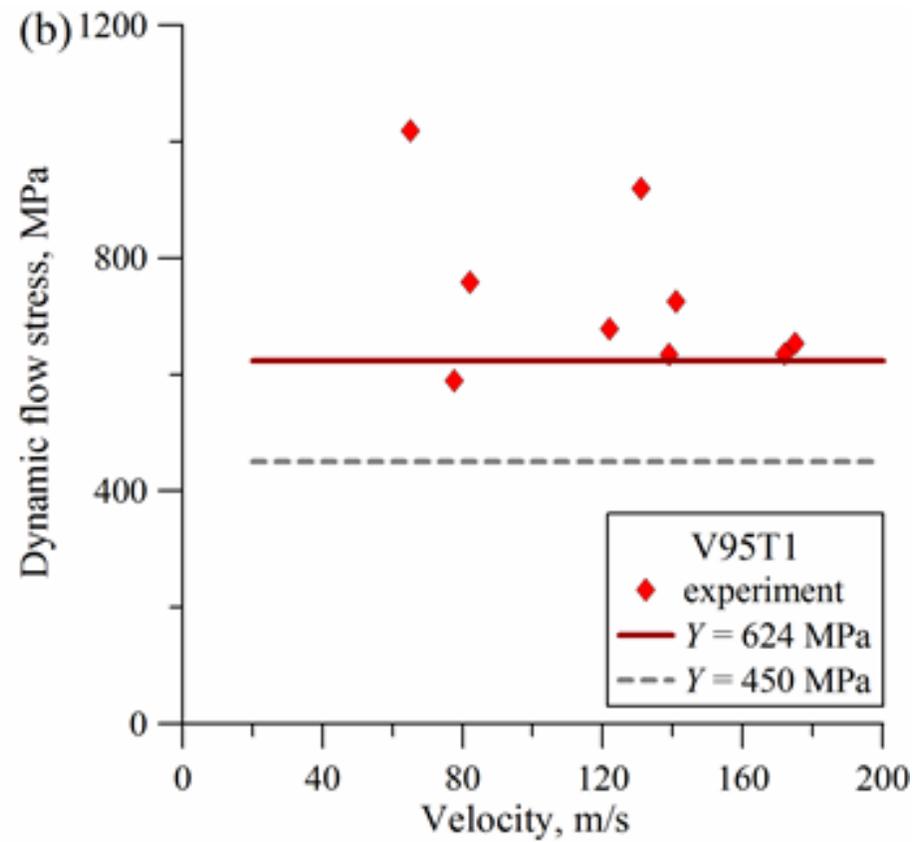
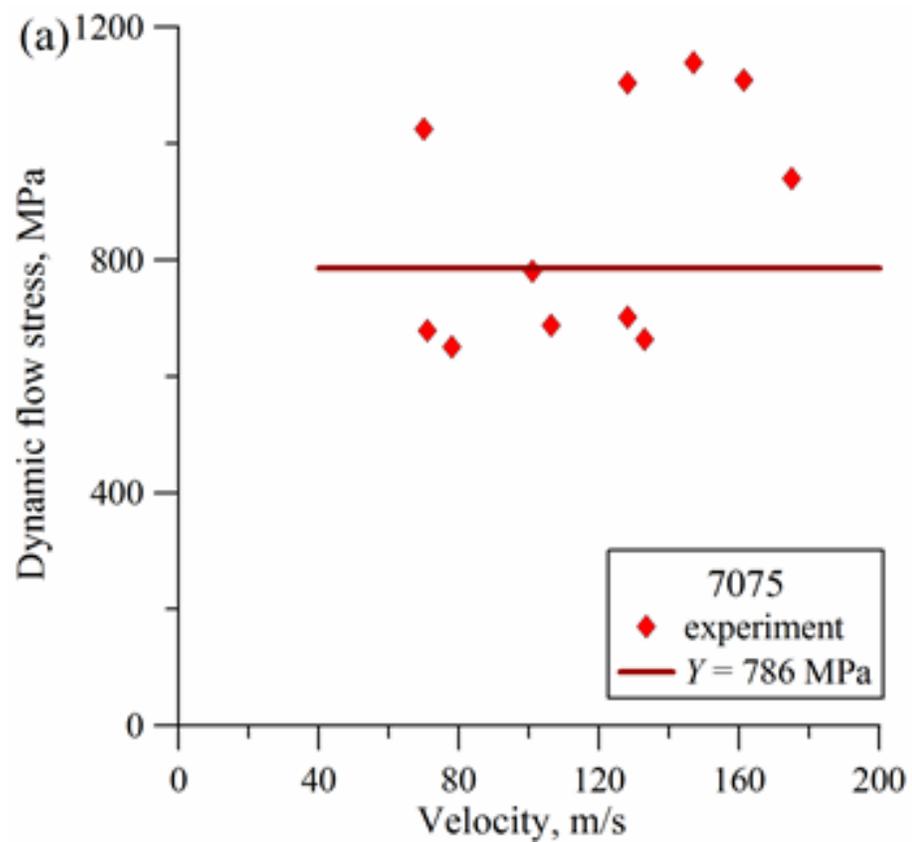
[3]. Taylor, G.. The use of flat shells to determine the dynamic yield strength. I. Theoretical considerations. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, (1948) 194(1038), 289-299.

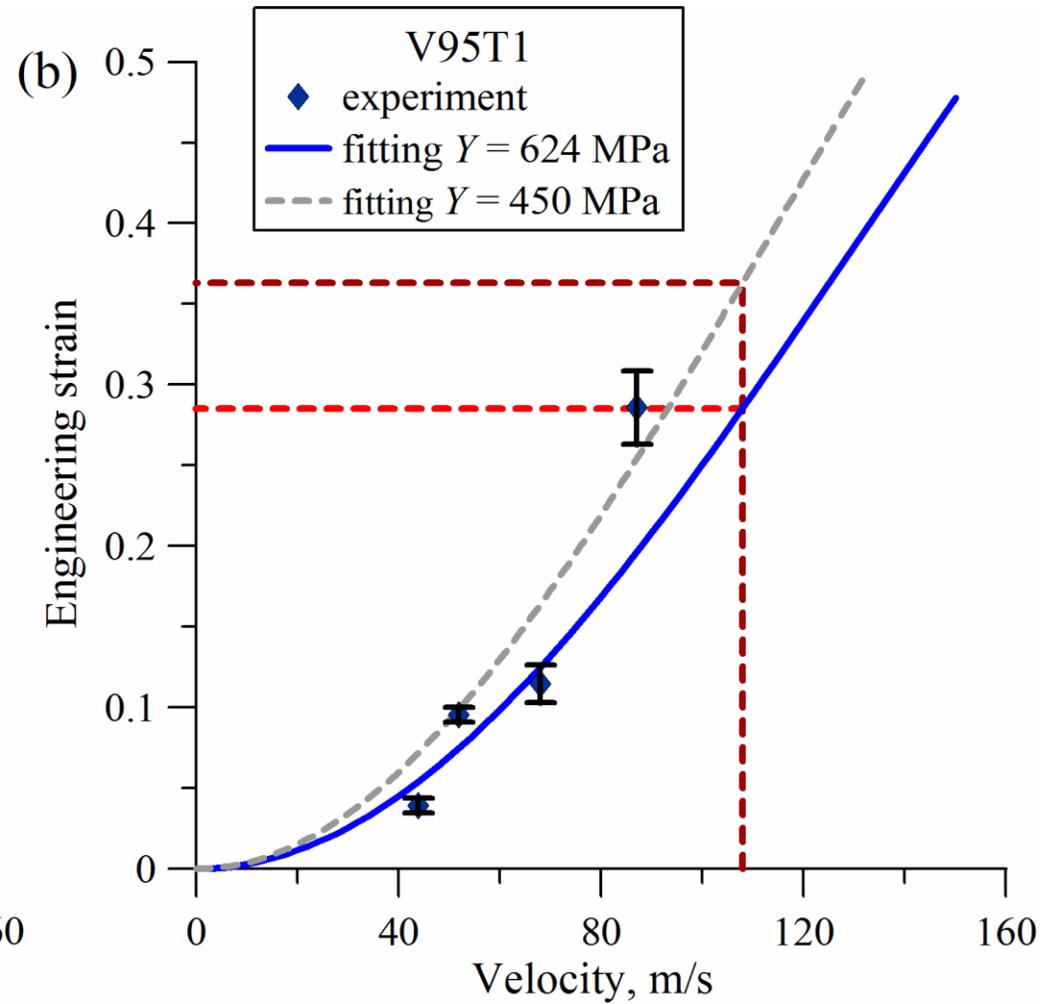
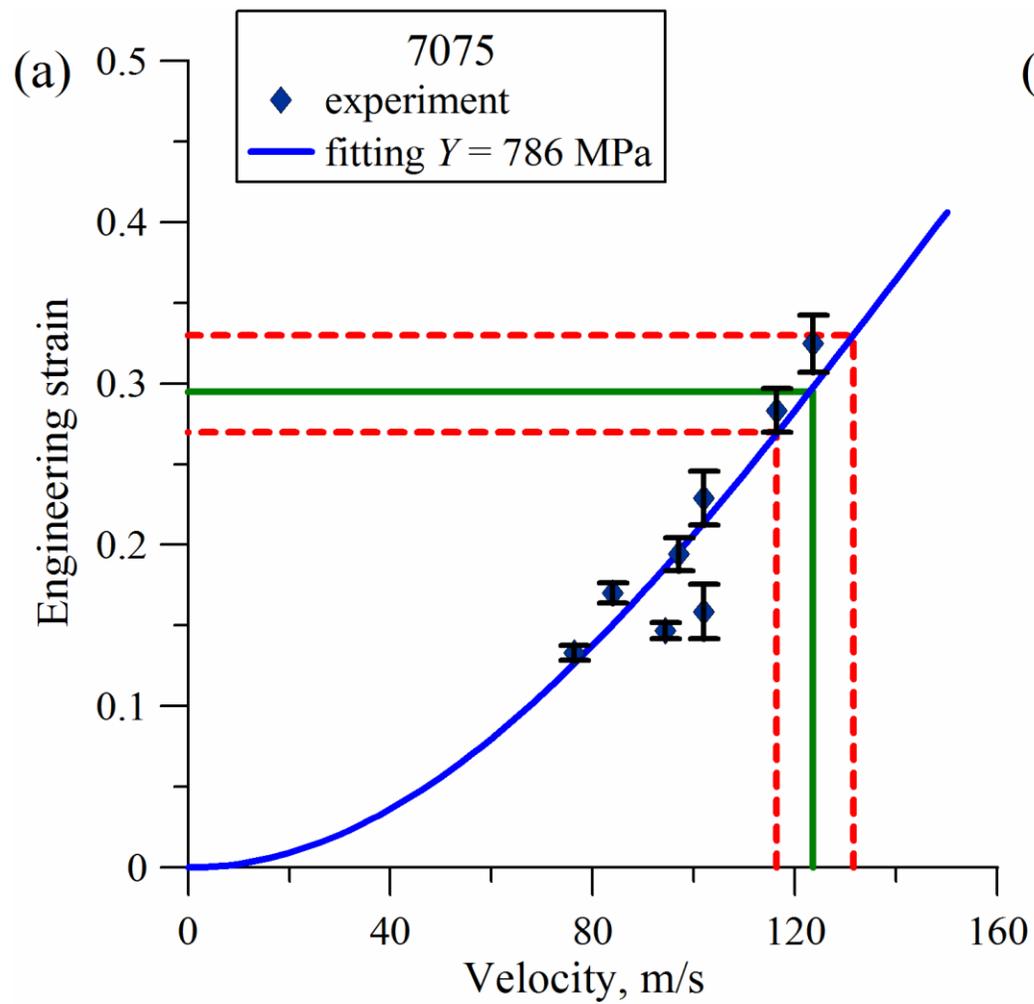
<http://www.jstor.org/stable/98289>.

Обсуждение



$$\varepsilon_f = 1 - L_{hf}/L_{h0} \quad (7)$$





Параметр	Al 7075	V95T1
Скорость деформации, с ⁻¹	(4–8)·10 ³	(2–6)·10 ³
Динамический предел текучести, МПа	786	624
Динамическая деформация разрушения	0.27–0.33	0.29–0.36

Ссылка на статью	Сплав алюминия	Скорость деформации, с ⁻¹	Динамический предел текучести, Мпа	Динамическая деформация разрушения	Предел прочности на растяжение, Мпа
[4]	AA7075-T4	0,1	670	0,45	-
[5]	Al7075	0,001	-	0,1	600
[6]	Al7075	0,001	530	-	-

[4] Feng, Z.; Liu, C.; Ma, P.; Yang, J.; Chen, K.; Li, G.; Chen, L.; Huang, Z. J. Initial holding time dependent warm deformation and post-ageing precipitation in an AA7075-T4 aluminum alloy. *Mater. Process. Technol.* 2021, 294, 117111. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117111>.

[5] Leng, L.; Zhang, Z.J.; Duan, Q.Q.; Zhang, P.; Zhang, Z.F. Improving the fatigue strength of 7075 alloy through aging. *Mater. Sci. Eng., A* 2018, 738, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.09.047>.

[6] Wang, X.; Wang, G.; Nan, X.; Ma, C.; Jiang, Z.; Hu, J.; Wang, Y. Mechanical behavior and microstructure evolution of different aluminum materials under shock loading. *J. Mater. Res. Technol.* 2024, 29, 3614–3625. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.02.073>.

Заключение

Наше исследование показывает, что динамический поток напряжения из сплава 7075, будучи 786 МПа при скорости деформации $(4 - 8)10^3 \text{с}^{-1}$, превышает на 25% значение 624 МПа для V95T1 сплава со скоростью деформации $(2 - 6)10^3 \text{с}^{-1}$. Пороговая скорость удара, приводящая к разрушению головной части профилированных образцов толщиной 4 мм, составляет 116-130 м/с для сплава 7075 и всего 108 м/с для сплава V95T1. Характер разрушения также отличается между сплавами с характерными трещинами, вызванными сдвигом, ориентированными под углом 45° к направлению удара в случае сплава V95T1 и перпендикулярным отламыванием головной части в случае сплава 7075. С другой стороны, деформация разрушения при ударном нагружении сплава V95T1, составляющая $0,29 \pm 0,36$, примерно на 8% превышает деформацию разрушения при нагружении сплава 7075, составляющую $0,27 - 0,33$.

Работа выполнена за счет проекта РНФ «Развитие моделей дислокационной пластичности и разрушения в приложении к задачам высокоскоростной обработки металлов» № 24-19-00684 (Майер П.Н.)