

УДК 669.1'782:539.374

**Плосков Никита Александрович**

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)  
Россия, Томск<sup>1</sup>  
Младший научный сотрудник  
E-Mail: [pna@ispms.tsc.ru](mailto:pna@ispms.tsc.ru)

**Данилов Владимир Иванович**

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)  
Россия, Томск  
Главный научный сотрудник  
Доктор физико-математических наук  
Профессор  
E-Mail: [dvi@ispms.tsc.ru](mailto:dvi@ispms.tsc.ru)

**Зуев Лев Борисович**

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)  
Россия, Томск  
Заведующий лабораторией  
Доктор физико-математических наук  
Профессор  
E-Mail: [lbz@ispms.tsc.ru](mailto:lbz@ispms.tsc.ru)

**О природе упругого и пластического инвариантов  
автоволин локализованной деформации**

---

<sup>1</sup> 634021, пр. Академический 2/4

**Аннотация.** Исследуется локализации пластического течения твердых тел на макроскопическом уровне. В рамках известных представлений об автоволновом характере локализованной пластичности рассмотрены параметры картин локализации на стадии линейного упрочнения диаграммы деформации металлов при активном нагружении. Отмечено, что произведение скорости фазовой автоволны локализованной пластической деформации на ее длину совпадает по порядку величин с произведением скорости распространения упругих волн на параметр решетки соответствующего металла, поэтому может рассматриваться как упруго-пластический инвариант. Этот инвариант индивидуален для каждого металла. Сделана попытка выяснить причину данного факта. Установлено, что инвариант закономерно изменяется в зависимости от модуля сдвига, модуля всестороннего сжатия и от межплоскостного расстояния наиболее плотноупакованных плоскостей кристаллической решетки. При этом данные изменения монотонны в пределах элементов, представляющих один и тот же период системы элементов Д.И. Менделеева, и скачком меняются при переходе к соседнему периоду. Обсуждение наблюдаемых явлений проведено в рамках ранее предложенной двухкомпонентной модели самоорганизации пластического течения. Сделан вывод, что упруго-пластический инвариант является фундаментальной характеристикой пластичности, а его природа обусловлена строением атомов и электронной структурой кристаллов соответствующих элементов.

**Ключевые слова:** пластическая деформация; самоорганизация; автоволны локализованной пластической деформации; параметр кристаллической структуры; упругие модули; периодическая система элементов Д.И. Менделеева; упруго-пластический инвариант.

Идентификационный номер статьи в журнале 28TVN314

## 1. Введение

Изучение природы пластической деформации твердых тел в течение последних двадцати пяти лет привело к важному заключению о том, что пластическое течение протекает неоднородно. Универсальность этого положения прослеживается на микроскопическом [1], мезоскопическом [2] и макроскопическом [3, 4] масштабных уровнях. Можно утверждать, что деформация при пластическом течении локализована на всех этапах – от предела текучести до разрушения, а микро-, мезо- и макромасштабные явления локализации становятся существенными для процессов пластического течения практически одновременно. Как подчеркивается авторами работ [4-6], явление макролокализации характерно для любых материалов и любых условий нагружения и не зависит от типа кристаллической решетки, фазового состава и зеренной структуры объекта исследования. Оно развивается в виде автоволн локализации пластической деформации.

Типы автоволн локализованной пластической деформации определены законом пластического течения, то есть, стадийностью кривой нагружения материала. Это позволило Л.Б. Зуеву [3] предложить правило соответствия, согласно которому каждая смена стадий деформационного упрочнения – это изменение типа автоволны локализованной пластической деформации. Авторы [4, 6] выделяли стадии упрочнения по величине показателя деформационного упрочнения в уравнении Людвига – Холломоны (1), которое в общем случае применимо к деформационным кривым любого вида.

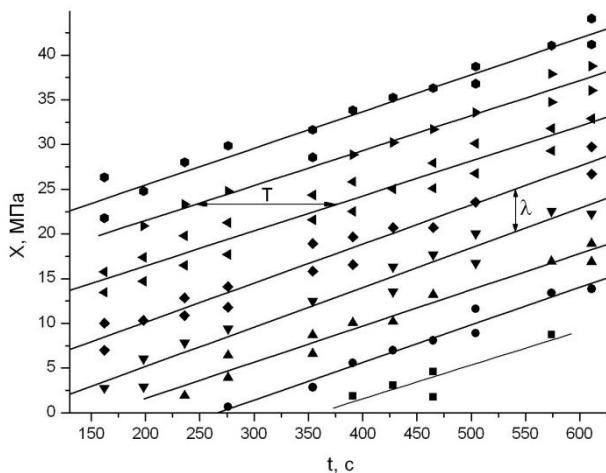
$$\sigma = \sigma_0 + K\varepsilon^n . \quad (1)$$

В этом случае правило соответствия формулируется следующим образом:

- площадке текучести или легкому скольжению, где  $n = 0$  соответствует одиночный движущийся с постоянной скоростью  $V_{aw}$  фронт локализованной деформации (полоса Чернова – Людерса), и который можно рассматривать как автоволну возбуждения;
- стадии линейного упрочнения ( $n = 1$ ) отвечает система эквидистантных очагов локализации деформации, движущихся синхронно в одном направлении с постоянной скоростью, что можно трактовать как фазовую автоволну локализованной деформации с постоянными длиной  $\lambda$  и скоростью  $V_{aw}$ ;
- на стадии параболического упрочнения по Тейлору при  $n = 1/2$  автоволновая картина стационарна и также эквидистантна с пространственным периодом  $\lambda$ ;
- стадия предразрушения ( $n < 1/2$ ) характеризуется тем, что выделяется одна неподвижная зона локализации с постоянно возрастающей амплитудой деформации. Остальные же очаги подвижны, и сходятся к неподвижной зоне с тем большей скоростью, чем дальше они находятся от этой зоны. В дальнейшем в области неподвижной зоны локализации формируется шейка и происходит разрушение. В [4] данный процесс определяется как коллапс автоволны локализованной деформации.

Наиболее строго характеристики автоволн локализованной пластической деформации могут быть установлены для стадии линейного упрочнения, где наблюдается фазовая автоволна, а, следовательно, одновременно могут быть экспериментально определены ее длина, период и скорость распространения. Это продемонстрировано на примере эволюции очагов локализации деформации в ниобии (рис. 1). Точками обозначены положения разных очагов  $X$  локализации в последовательные промежутки времени  $t$ . Ясно, что расстояния между зависимостями  $X(t)$ , измеренные вдоль вертикальной оси дают пространственный

период или длину автоволны  $\lambda$ , а измеренные вдоль горизонтальной оси – временной период  $T$ . Комбинация этих величин позволяет найти скорость автоволны  $V_{aw}$ . Поэтому с самых ранних работ на эту тему [7] линейной стадии уделялось особое внимание [3-6]. Для широкой группы исследованных металлов была установлена обратно пропорциональная зависимость скорости фазовых автоволн от коэффициента упрочнения на данной стадии. Было показано, что длина автоволны индивидуальна для каждого материала и зависит от геометрических размеров образца и размера зерна в поликристаллическом состоянии. Наконец, было установлено, что фазовым автоволнам локализованной деформации отвечает квадратичное дисперсионное соотношение, характерное для процессов самоорганизации в активных средах [8].



**Рис. 1.** Хронограмма очагов локализованной деформации на стадии линейного упрочнения в ниобии (фазовая автоволна)  $T$  – период автоволны,  $\lambda$  – длина автоволны

Рассмотрение автоволн локализованной деформации в рамках синергетического подхода позволило обнаружить важное соотношение, которое в Л.Б. Зуевым было названо упруго-пластическим инвариантом [3]. Это произведение скорости фазовой автоволны на ее длину. По порядку величин оно одинаково для всех исследованных материалов (см. таблицу 1). Также по порядку величин это соотношение совпадает с произведением скорости поперечных упругих волн на расстояние между наиболее плотно упакованными плоскостями соответствующего металла.

$$V_{aw}\lambda = \zeta V_{\perp} d, \quad (2)$$

где  $1/3 \leq \zeta \leq 1,6$ . Возникает вопрос о природе упруго-пластического инварианта. Почему он существует, как зависит от физико-химической природы металлов, какими фундаментальными характеристиками материалов определяется, каков смысл коэффициента  $\zeta$ ? Этим вопросам и посвящена настоящая работа.

## 2. Основные представления, экспериментальные данные и обсуждение

Автоволновая природа локализации пластической деформации представлена Зуевым Л.Б. в рамках двухкомпонентной модели самоорганизации пластического течения [9]. В процессе деформации объект, как активная среда, самопроизвольно разбивается на две подсистемы: динамическую и информационную. Динамическая подсистема включает в себя процессы движения дислокаций и их ансамблей, которые ответственны собственно за формоизменение. Роль информационной (управляющей) подсистемы играют сигналы акустической эмиссии, излучаемые при элементарных релаксационных актах пластичности.

Взаимодействие этих подсистем вызывает согласно Кадомцеву [10], самоорганизацию, в том числе и в виде автоволн различных типов.

В монографии [4] для математической реализации этой модели применительно к автоволнам локализации пластической деформации была использована система реакционно-диффузионных дифференциальных параболических уравнений.

$$\dot{\varepsilon} = f(\varepsilon, \sigma) + D_\varepsilon \varepsilon'' , \quad (3)$$

$$\dot{\sigma} = g(\sigma, \varepsilon) + D_\sigma \sigma'' . \quad (4)$$

Первое уравнение записано для скорости изменений в динамической подсистеме, а второе – в информационной. Нелинейные функции  $f(\varepsilon, \sigma)$  и  $g(\varepsilon, \sigma)$  описывают точечные кинетики и имеют смысл скоростей изменения деформации и напряжения на микроскопическом уровне. В частности  $f(\varepsilon, \sigma)$ , как показано в [11], при однородном распределении дислокаций эквивалентна уравнению дислокационной кинетики Тейлора – Орована и может быть представлена как  $\dot{\varepsilon} = b\rho_d V_d$  ( $b$  – вектор Бюргерса,  $\rho_d$  – плотность подвижных дислокаций,  $V_d$  – скорость их движения). «Диффузионные» члены  $D_\sigma \sigma''$  и  $D_\varepsilon \varepsilon''$  задают макро- и мезомасштабное перераспределения напряжений и деформаций. Коэффициенты в этих выражениях по размерности аналогичны коэффициентам диффузии и потому должны быть представлены в виде  $D \approx V \cdot L$ . Параметр  $L$  представляет собой характерный масштаб процесса. Для динамической системы  $L_\varepsilon$ , как упоминалось выше, микроскопический порядка вектора Бюргерса, то есть, определяется параметром решетки. Характерная скорость здесь коррелирует со скоростью надбарьерного движения дислокаций, следовательно, ограничивается сверху скоростью распространения сдвиговых акустических волн. Для информационной системы характерный масштаб должен быть порядка размера образца. Логично предположить, что в нашем случае  $L_\sigma \approx \lambda$  длине автоволны. Тогда характерная скорость в информационной системе – это скорость распространения автоволны  $V_{aw}$ .

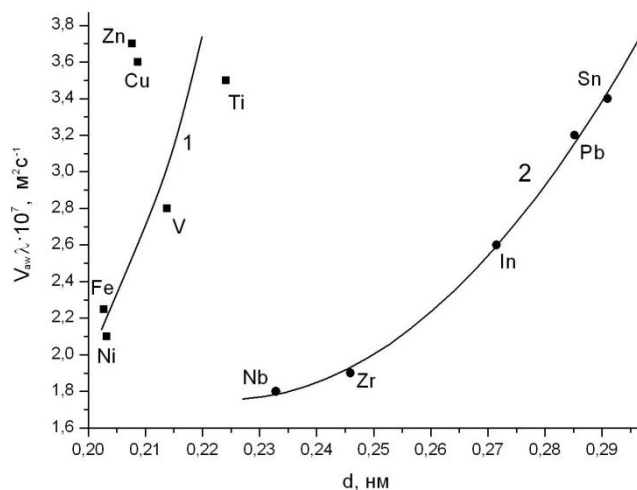
**Таблица 1**

**Автоволновые и решеточные характеристики исследованных металлов**

	$V_{aw} \cdot 10^5$ , м/с	$\lambda \cdot 10^3$ , м	$V_{aw} \lambda \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	d, нм	$V_{\perp} \cdot 10^{-3}$ , м/с	$V_{\perp} \cdot d \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с
Ti	5,0	7,0	3,5	0,2241	3,11	7,9
V	7,0	4,0	2,8	0,2138	2,90	6,2
Fe	5,2	4,3	2,25	0,2027	3,23	6,5
Ni	6,0	3,5	2,1	0,2032	2,96	6,0
Cu	8,0	4,5	3,6	0,2087	2,26	4,7
Zn	7,6	4,9	3,7	0,2077	2,41	5,3
Zr	3,5	5,5	1,9	0,2459	2,26	6,1
Nb	4,1	4,3	1,8	0,2329	2,29	5,3
In	6,1	4,2	2,6	0,2715	0,81	2,2
Sn	7,3	4,3	3,4	0,2910	1,67	5,3
Pb	6,4	5,0	3,2	0,2852	0,70	2,0

В таблице 1 значения «диффузионных» коэффициентов  $D_\sigma$  представленных в виде произведения  $V_{ав} \cdot \lambda$  указаны для всех исследованных металлов. В этой же таблице тоже для всех материалов  $D_\varepsilon$  представлено произведением  $V_\perp \cdot d$ , где  $V_\perp$  – скорость поперечных акустических волн, а  $d$  – межплоскостное расстояние между наиболее плотноупакованными плоскостями кристаллической решетки. Видно, что  $D_\sigma$  и  $D_\varepsilon$ , хотя и представляют разные масштабные уровни, не только совпадают по порядку величин, но и близки по численным значениям. То есть, именно они входят в выражение (2) и являются упруго-пластическим инвариантом.

Важным представляется вопрос о природе коэффициента  $\zeta$ . Он может отражать зависимость параметров автоволн локализованной пластической деформации от решеточной характеристики  $d$ . На рис. 2 представлена зависимость упруго-пластического инварианта  $V_{ав} \cdot \lambda$  от межплоскостного расстояния. Видно, что все данные разбиваются на две группы. В первую входят элементы, относящиеся к четвертому периоду периодической системы Д.И. Менделеева, а во вторую – к пятому (см. таблицу 2). Исключение составляет свинец, который относится к шестому периоду, но хорошо укладывается на кривую 2 рис. 2.



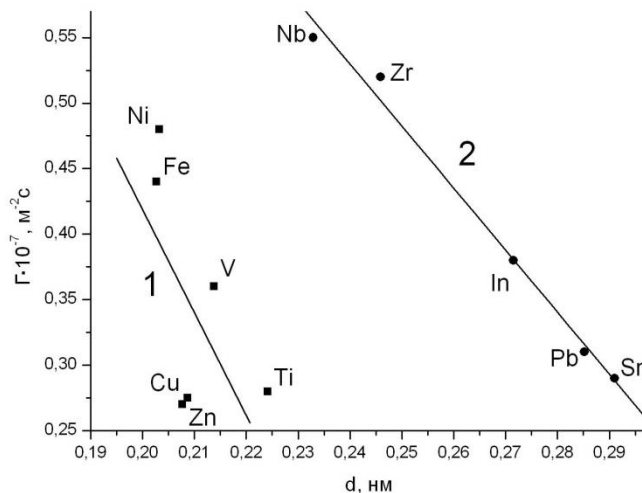
**Рис. 2.** Зависимости упруго-пластического инварианта от межплоскостного расстояния в кристаллической решетке металлов 4 периода (1) и металлов 5 периода (2) периодической системы Д.И. Менделеева

**Таблица 2**

**Упруго-пластические инварианты, модули и атомные массы исследованных металлов**

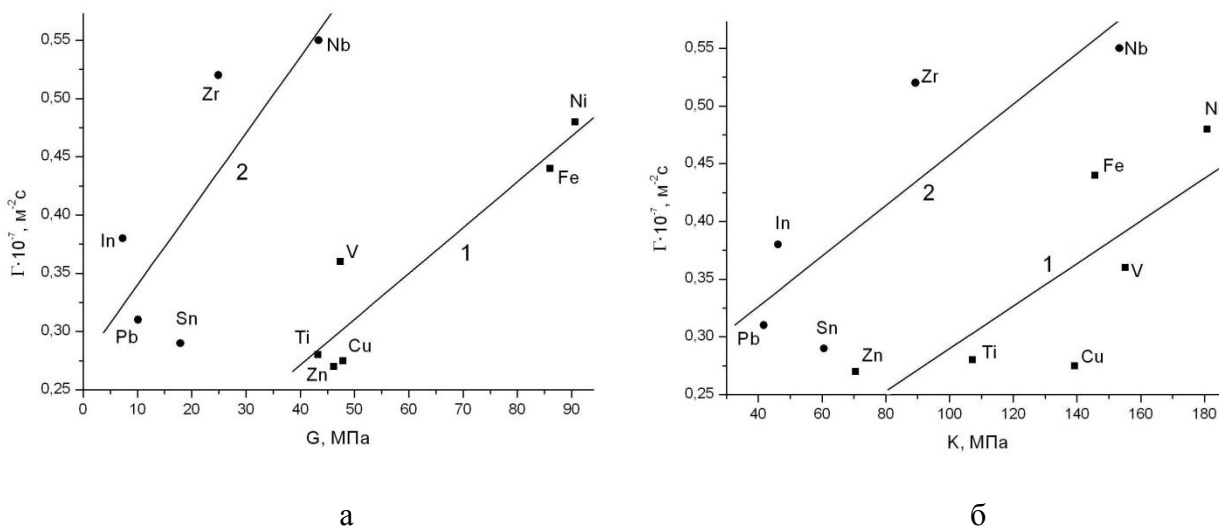
	период	Z	A, а.е.м.	G, ГПа	K, ГПа	$\Gamma \cdot 10^{-7}$ , $\text{м}^{-2}\text{с}$	$\gamma \cdot 10^{-37}$ , $\text{кг}^{-1}\text{м}^{-2}\text{с}$
Ti	4	22	48	43,3	107,2	0,28	3,51
V	4	23	51	47,4	155,1	0,36	4,25
Fe	4	26	56	86,0	145,6	0,44	4,73
Ni	4	28	59	90,6	180,8	0,48	4,90
Cu	4	29	63	47,9	139,3	0,275	2,63
Zn	4	30	65	46,2	70,5	0,27	2,50
Zr	5	40	91	24,9	89,3	0,52	3,44
Nb	5	41	93	43,4	153,3	0,55	3,56
In	5	49	115	7,3	46,2	0,38	1,99
Sn	5	50	118	17,9	60,6	0,29	1,48
Pb	6	82	207	10,1	41,7	0,31	0,90

Обе зависимости нелинейные. Они удовлетворительно линеаризуются, если строить зависимость  $\Gamma = (V_{aw}\lambda)^{-1}$  (табл. 2) от межплоскостного расстояния  $d$ . При этом разделение элементов по периодам становится еще более четким (см. зависимости (1) и (2) рис. 3), в обеих группах  $\Gamma$  практически линейно снижается с ростом  $d$ .



**Рис. 3.** Зависимости обратных значений упруго-пластического инварианта от межплоскостного расстояния. (1) –металлы 4 периода, (2) –металлы 5 периода

С другой стороны инвариант может определяться скоростью упругих волн, которая зависит от плотности и модулей вещества. На рис. 4 представлена зависимость  $\Gamma$  от модулей сдвига (а) и всестороннего сжатия (б). Видно, что сепарация элементов по положению в периодической системе Д.И. Менделеева существует и этом случае. В каждой группе рассматриваемая характеристика возрастает.



**Рис. 4.** Зависимости обратных значений упруго-пластического инварианта от модуля сдвига (а) и модуля всестороннего сжатия (б). (1) металлы 4 периода, (2) металлы 5 периода

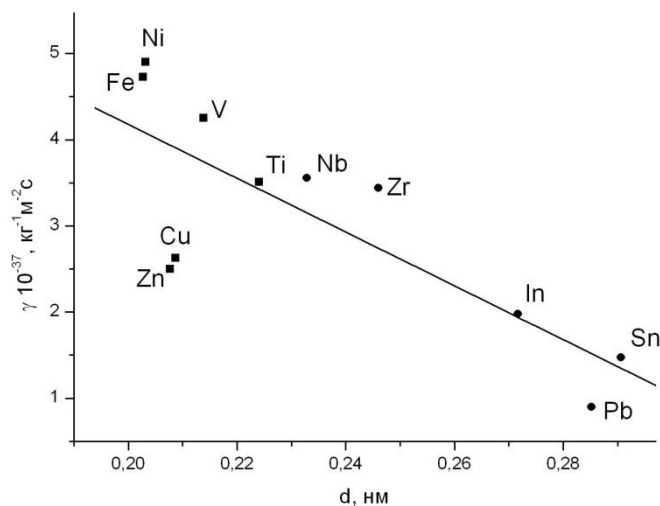
Важным представляется, что наклоны зависимостей  $\Gamma(G)$ ,  $\Gamma(K)$  и  $\Gamma(d)$  для обеих выделенных групп элементов практически одинаковы. То есть, значения упругопластического инварианта повторяются при переходе от одного периода системы Д.И. Менделеева к

другому. В этом отношении он ведет себя подобно основным химическим и некоторым физическим свойствам элементов. Так атомный радиус [12] и атомный объем [13] уменьшаются внутри периодов и скачком возрастают при переходе к соседнем периоду, а потенциал ионизации, наоборот, нелинейно возрастает внутри периодов и скачком падает при переходе к следующему периоду [14]. Подобные зависимости существуют для плотности, сжимаемости, температуры плавления, тепло- и электропроводности и модуля упругости [15].

Элементы из соседних периодов с одинаковыми свойствами отличаются в первую очередь их атомной массой. Нивелировать это различие можно, если пронормировать величину  $\Gamma$  на атомную массу элемента  $A$

$$\gamma = \frac{\Gamma}{A} = \frac{1}{\lambda V_{aw} A}. \quad (5)$$

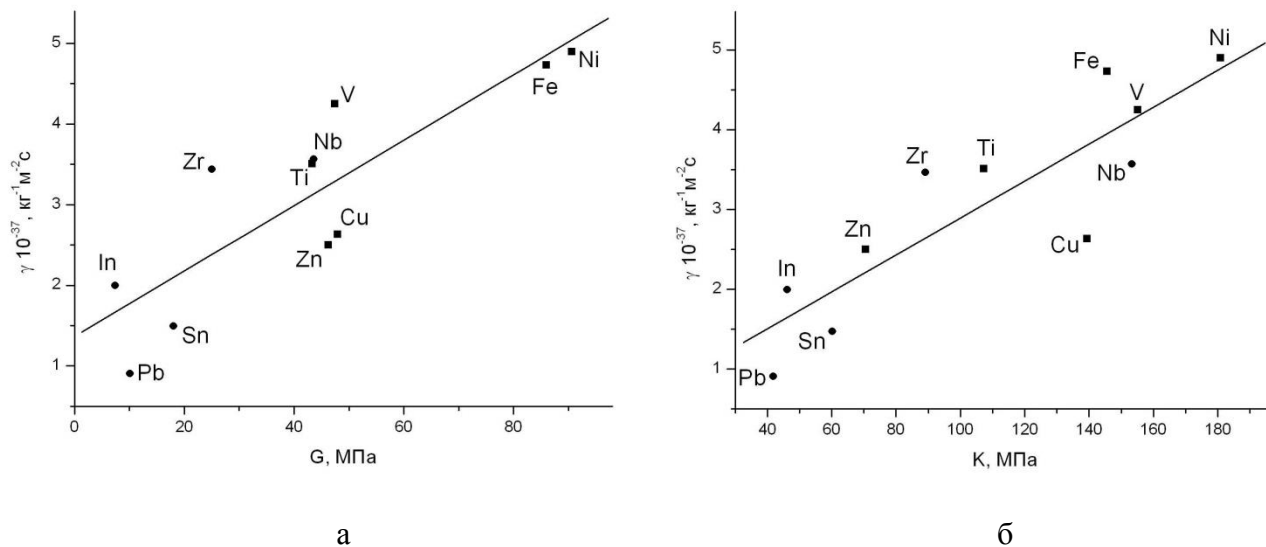
Действительно, в таком случае для всех исследованных элементов  $\gamma$  линейно уменьшается с увеличением межплоскостного расстояния (рис. 5), и также линейно возрастает с ростом модулей сдвига и всестороннего сжатия (рис. 6 а и б).



**Рис. 5.** Нормированные значения обратного упруго-пластического инварианта в зависимости от межплоскостных расстояний. ■ – металлы 4 периода, ● – металлы 5 периода.

Если вернуться к выражению (2), то можно видеть, что произведения в левой и правой части могут рассматриваться как два инварианта, соответственно, пластических и упругих процессов, которые одновременно протекают в деформируемой среде. То есть, малые упругие деформации  $\varepsilon_e \ll 1$ , но распространяющиеся с высокими скоростями  $V_{\perp}$  контролируют перераспределение очагов больших пластических деформаций  $\varepsilon_p \approx 1$ , происходящее с малыми скоростями  $V_{aw}$  и наоборот. При этом отношение соответствующих скоростей  $V_{\perp}/V_{aw} \approx 10^8$ . Такое соотношение между скоростями было получено нами экспериментально в [3, 4], где показано, что  $V_{aw} = \frac{1}{\theta} \frac{B}{\eta} V_{\perp}$  (здесь  $\theta$  – коэффициент упрочнения материала,  $B$  – вязкость фоннного газа  $\eta \gg B$  – дислокационная вязкость кристалла).





**Рис. 6.** Нормированные значения обратного упруго-пластического инварианта в зависимости от модуля сдвига (а) и модуля всестороннего сжатия (б). ■ – металлы 4 периода, ● – металлы 5 периода

Данные обстоятельства указывают на важную роль фоновой подсистемы в формировании автоволн локализованной пластической деформации. Это ожидаемо, так как, например, приращение пластической деформации на микроуровне согласно представлениям Тейлора [9] определяется движущимися между локальными препятствиями дислокациями. В таких условиях дислокации движутся надбарьерно, поэтому их скорости определяются взаимодействием только с фоновым газом [11, 16].

### 3. Заключение

Существование упруго-пластического инварианта автоволн локализованной пластической деформации вытекает непосредственно из двухкомпонентной модели самоорганизации пластического течения. Инвариант отражает взаимную обусловленность деформационных процессов на микроскопическом и макроскопическом уровнях. Деформационные дефекты микроскопического уровня, взаимодействуя с фоновой подсистемой нагруженного объекта, формируют движущиеся макроскопические очаги локализованной деформации, то есть автоволну. Следовательно, упруго-пластический инвариант, связан с решеточными свойствами кристаллов и фоновой плотностью. Поэтому он меняется по периодическому закону в соответствии с номером элемента в периодической системе Д.И. Менделеева.

Подводя итог, можно утверждать, что упруго-пластический инвариант является столь же фундаментальной характеристикой пластической деформации, как модули упругой деформации, теплопроводность и теплота плавления – тепловых процессов, а потенциал ионизации и электропроводность – электрических процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kuhlmann-Wilsdorf, D. The low energetic structures theory of solid plasticity [Текст] // Dislocations in Solids. Ed. by Nabarro F.R.N. and Duesbery M.S. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2002. – P. 213-338.
2. Панин, В.Е. Нелинейные волновые процессы в деформируемом твёрдом теле как многоуровневой иерархически организованной системе [Текст] / Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. // Успехи физ. наук. – 2012. – Т. 182. – №12. – С. 1351-1357.
3. Zuev, L.B. On the waves of plastic flow localization in pure metals and alloys [Текст] // Ann. Phys. – 2007. – Vol. 16. – P. 286-310.
4. Зуев, Л.Б. Физика макролокализации пластического течения [Текст] / Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Новосибирск: Наука. – 2008. – 327 с.
5. Zuev, L.B. Autowave model of localized plastic flow of solids [Текст] / Zuev L.B., Danilov V.I., Barannikova S.A., Gorbatenko V.V. // Phys. Wave Phenom. – 2009. – Vol. 17. – P. 66-75.
6. Плосков, Н.А. О квантовой природе автоволн локализации пластической деформации [Электронный ресурс] / Плосков Н.А., Зуев Л.Б., Данилов В.И. // Journal of International Scientific Publication: Materials, Methods & Technologies – 2012. – Vol. 6, part 3, – P. 133-141. Режим доступа: <http://www.scientific-publications.net/download/materials-methods-and-technologies-2012-3.pdf>. – Яз. рус.
7. Zuev, L.B. The self-excited wave nature of the instability and localization of plastic deformation [Текст] / Zuev L.B., Danilov V.I., Kartashova N.V., Barannikova S.A. // Mater. Sci. and Engng. A. – 1997. – Vol. A234-236. – P. 699-702.
8. Зуев, Л.Б. Дисперсия автоволн локализованного пластического течения [Текст] / Зуев Л.Б., Хон Ю.А., Баранникова С.А. // ЖТФ. – 2010. – Т. 80. – С. 53-59.
9. Zuev, L.B. Autowave mechanics of plastic flow of solids [Текст] // Phys. of Wave Phenomena. – 2012. – Vol. 20. – P. 166-173.
10. Кадомцев, Б.Б. Динамика и информация [Текст] – М.: Журн. Успехи физ. наук. – 1999. – с. 397.
11. Зуев, Л.Б. Модель локализованной пластичности твердых тел. Автоволны и квазичастицы [Текст] // Металлофиз. новейшие технол. – 2012. – Т. 34. – С. 221-238.
12. Полинг, Л. Общая химия [Текст] – М.: Мир. – 1974. – 845 с.
13. Жданов, Г.С. Физика твердого тела [Текст] – М.: Изд. Московского университета. – 1962. – с. 504.
14. Грей, Г. Электроны и химическая связь [Текст] – М.: Мир. – 1967. – 244 с.
15. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т. 1 [Текст] / под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия – 1961. – 747 с.
16. Danilov V.I. Two-componenet model of localized plasticity autowaves and quantum properties of the same. [Текст] / Danilov V.I, Zuev L.B., Barannikova S.A., Ploskov N.A. // Recent Researches in Environmental & Geological Sciences. Proceedings of the 7<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Continuum Mechanics (CM'12). P. 398-403).

**Рецензент:** Иванов Юрий Федорович, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения РАН, доктор физико-математических наук, профессор.

**Nikita Ploskov**

Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences; (ISPMS SB RAS)  
Russia, Tomsk  
E-Mail: [pna@ispms.tsc.ru](mailto:pna@ispms.tsc.ru)

**Vladimir Danilov**

Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences; (ISPMS SB RAS)  
Russia, Tomsk  
E-Mail: [dvi@ispms.tsc.ru](mailto:dvi@ispms.tsc.ru)

**Zuev Lev**

Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences; (ISPMS SB RAS)  
Russia, Tomsk  
E-Mail: [lbz@ispms.tsc.ru](mailto:lbz@ispms.tsc.ru)

## On the elastic-plastic invariant of localized strain autowaves

**Abstract.** The macro-localization of plastic flow in solids was investigated. Recently defined notions of the auto-wave nature of localized plasticity were the conceptual framework in which the localized strain patterns observed in studied metals were systematically investigated. The characteristics of patterns were defined for the linear strengthening stage of the deformation diagram plotted for the test sample under active loading. It is found that the product of phase autowave rate by wavelength has the same order of magnitude as the product of elastic wave rate times lattice constant of respective metal; hence, the former product might be considered elastic-plastic invariant. The elastic-plastic invariant varies in magnitude with metal. We attempted to verify or disprove this fact. It was found that the elastic-plastic invariant would vary regularly with the shear and the compression modulus and the interplanar spacing of the most close-packed planes of the crystal lattice. The data on variation of elastic-plastic invariant has been obtained for elements of one and the same period of the Mendeleev system of elements; these are characterized by monotony. However, a jump-wise change would occur in the data on going from one period to the next. This phenomenon is addressed in the frame of previously developed two-component model of plastic flow self-organization. It is concluded that the elastic-plastic invariant is a fundamental characteristic of plasticity, which closely related to the atomic and electronic structure of crystals of respective elements.

**Keywords:** plastic deformation; self organization; autowaves of localized plastic deformation; krystal latys parameter; elastic modules; the periodical table of chemical elements; elastic-plastic invariant.

Identification number of article 28TVN314

## REFERENCES

1. Kuhlmann-Wilsdorf, D. The low energetic structures theory of solid plasticity [Text] // Dislocations in Solids. Ed. by Nabarro F.R.N. and Duesbery M.S. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2002. – P. 213-338.
2. Panin, V.E. Nonlinear wave processes in a deformable solid as in a multiscale hierarchically organized system [Text] /Panin V.E., Egorushkin V.E., Panin A.V. // Physics-Uspechi. – 2012. – Т. 55. – №12. – С. 1260-1267.
3. Zuev, L.B. On the waves of plastic flow localization in pure metals and alloys [Text] // Ann. Phys. – 2007. – Vol. 16. – P. 286-310.
4. Zuev, L.B. Plastic Flow Macrolocalization Physics [Text] / Zuev L.B., Danilov V.I., Barannikova S.A. Novosibirsk: Nauka. – 2008. – 327 p.
5. Zuev, L.B. Autowave model of localized plastic flow of solids [Text] / Zuev L.B., Danilov V.I., Barannikova S.A., Gorbatenko V.V. // Phys. Wave Phenom. – 2009. – Vol. 17. – P. 66-75.
6. Ploskov, N.A. About the quantum nature of the localized plastic deformation autowaves [Jelektronnyj resurs] / Ploskov N.A., Zuev L.B., Danilov V.I. // Journal of International Scientific Publication: Materials, Methods & Tecnologies – 2012. – Vol. 6, part 3, – P. 133-141. Rezhim dostupa: <http://www.scientific-publications.net/download/materials-methods-and-technologies-2012-3.pdf>. – Jaz. rus.
7. Zuev, L.B. The self-excited wave nature of the instability and localization of plastic deformation [Text] / Zuev L.B., Danilov V.I., Kartashova N.V., Barannikova S.A. // Mater. Sci. and Engng. A. – 1997. – Vol. A234-236. – P. 699-702.
8. Zuev, L.B. Dispersion of autowaves in a localized plastic flow [Text] / Zuev L.B., Khon Yu.A., Barannikova S.A. // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. – 2010. – Т.55. – №7. – С. 965-971.
9. Zuev, L.B. Autowave mechanics of plastic flow of solids [Text]// Phys. of Wave Phenomena. – 2012. – Vol. 20. – P. 166-173.
10. Kadomtsev, B.B. Dynamics and Information [Текст] // Physics Uspekhi. – 1999. – с. 397.
11. Zuev, L.B. Model of localized plasticity of solids. Autowaves and quasi-particles [Text] // Металлофиз. новейшие технол. – 2012. – Т. 34. – С. 221-238.
12. Pauling, L. General Chemistry [Text] – W.H. Freeman & Co. San-Francisco. – 1970. – 845 p.
13. Zhdanov, G.S. Fizika tverdogo tela [Text] – Moskva: Izd. Moskovskogo universiteta. – 1962. – с.504
14. Gray, H. Electrons and Chemical Bonding [Text] – W.A. Benjamin, Inc. New York. Amsterdam – 1965. – 244 s.
15. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali. Spravochnik T. 1 [Text] / pod red. M.L. Bernsteina i A.G. Rakhshadta. – Moskva: Metallurgiya. – 1961. – 747 s.
16. Danilov V.I. Two-componenet model of localized plasticity autowaves and quantum properties of the same. [Text] / Danilov V.I, Zuev L.B., Barannikova S.A., Ploskov N.A. // Recent Researches in Environmental & Geological Sciences. Proceedings of the 7<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Continuum Mechanics (CM'12). P. 398-403).