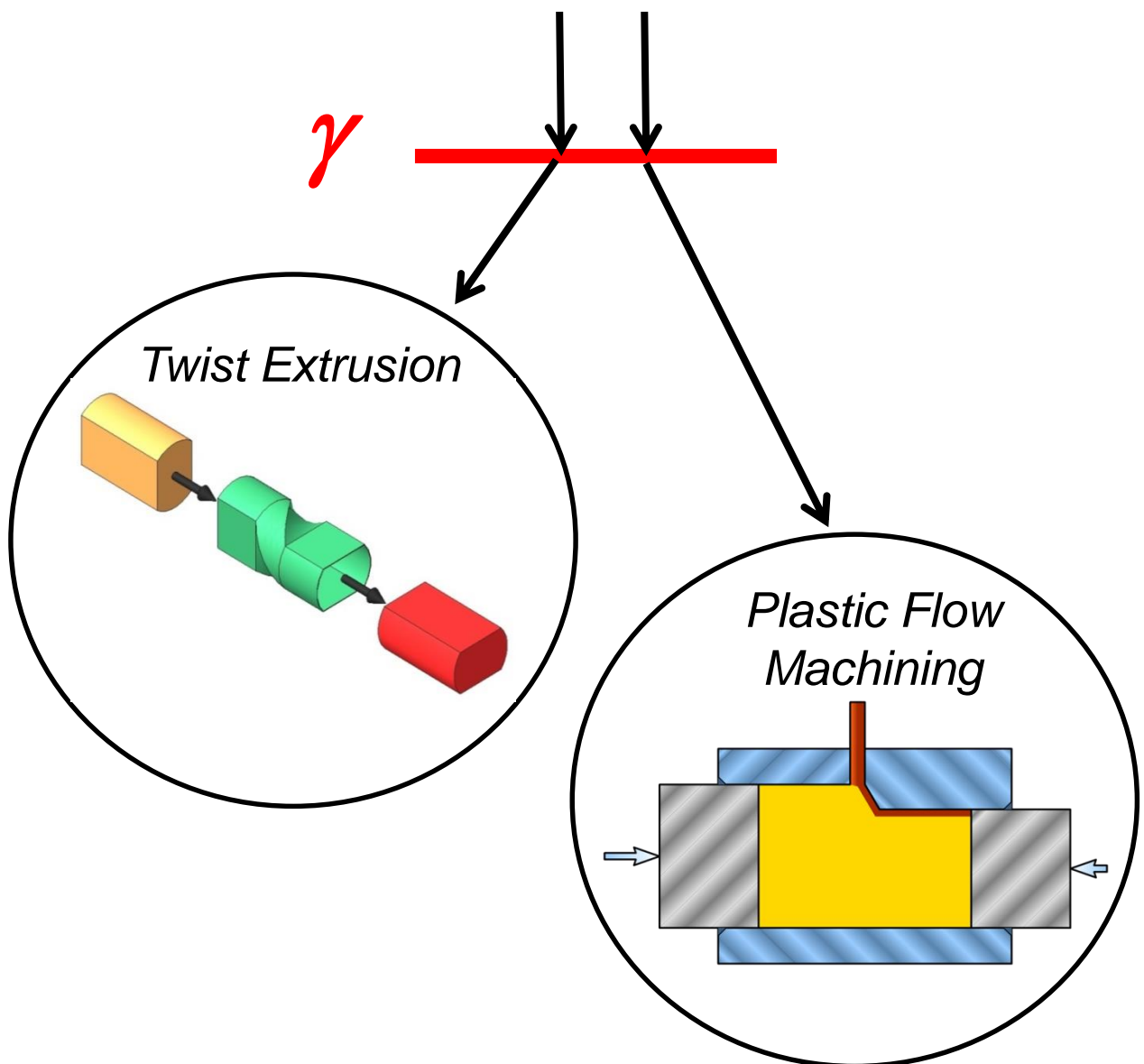


Бейгельзимер Я.Е.

Простой сдвиг под давлением в материаловедении и технологиях обработки металлов



Киев
2018

**До обрання на вакансію члена-кореспондента НАН України
за спеціальністю «Матеріалознавство, технологія металів»**

Бейгельзімер Яків Юхимович

**доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
Донецького фізико-технічного інституту ім.О.О.Галкіна НАН України**

Зміст:

- Довідка про наукову та науково – організаційну діяльність
- «Простой сдвиг под давлением в материаловедении и технологиях обработки металлов» (головні результати діяльності Я.Бейгельзімера, які пов'язані з дослідженням деформації за схемою простого зсуву, а також з її застосуванням для формування структури і властивостей металевих матеріалів)
- Додаток. Резюме (CV)

ДОВІДКА

**про наукову та науково – організаційну діяльність
головного наукового співробітника Донецького фізико-технічного
інституту ім. О.О. Галкіна НАН України, доктора технічних наук,
професора
Бейгельзімера Якова Юхимовича**

Я.Ю.Бейгельзімер, 1952 р.н., в 1974 році з відзнакою закінчив фізичний факультет Донецького національного університету, після чого проходив військову службу. З 1975 р. – м.н.с. відділу гідроекструзії Донецької філії Центрального науково-дослідного технологічного інституту.

З 1979 р. працює у Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О.Галкіна НАН України, з 2008 р. - головний науковий співробітник. Кандидат технічних наук з 1982 р., дисертація: «Теоретичне і експериментальне дослідження стійкості процесу гідроекструзії». Доктор технічних наук з 1994 р., дисертація: «Фізичні моделі в дослідженні і розробці процесів гідростатичної обробки матеріалів». Обидві дисертації захищені за фахом 05.03.05 „Процеси та машини обробки тиском”. Вчене звання старшого наукового співробітника присвоєно у 1990 р., професора - у 2001 р.

Автор 213 публікацій в провідних міжнародних та центральних українських виданнях (понад 200 - в базі Google Scholar, 110 – в Scopus). Співавтор семи монографій, остання з яких – «Severe Plastic Deformation Technology», Rosochowski, A. (ed.), Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland, вийшла в 2017 р. Має 36 патентів: 32 патента України на винаходи і корисні моделі, два міжнародних патента України (WO), патент США та патент Франції.

За базою Google Scholar його **індекс Хірша** (h-index) складає **20**, **i10-індекс – 34**, індекс бібліографічних посилань - **1605**.

За базою даних **Scopus** індекс Хірша, без самоцитування, складає **15**, індекс бібліографічних посилань - **908**.

Я.Ю.Бейгельзімер є відомим фахівцем у галузі матеріалознавства та технологій обробки металів тиском. Свою наукову діяльність він розпочав під керівництвом академіка НАН України О.О.Галкіна та чл.-корр. НАН України Б.І.Береснева. Нижче коротко перелічені його найбільш значимі результати в науці і практиці.

Теорія пластичних деформацій при обробці матеріалів тиском

Розроблено континуальну модель порошкових і пористих тіл, в якій вперше враховано несумісність пластичних деформацій різних складових структури матеріалів. На її основі - математичну модель пластичної деформації металів, що враховує взаємозв'язок останньої з процесом в'язкого руйнування. Це дозволило визначити режими деформації без руйнування заготовок при гідроекструзії, волочінні, прокатці, гвинтовій екструзії і т.і. Зазначена модель застосована для оригінальної математичної моделі контактної тертя, в якій зона контакту інструменту з заготовкою представлена у вигляді тонкого шару з структурно-неоднорідного пористого тіла, напруга зсуву якого і визначає напругу тертя.

Створено оригінальну багаторівневу модель деформації полікристалів, яка дозволила в комп'ютерному експерименті досліджувати макроскопічні виявлення різноманітних механізмів

деформації кристалів, прогнозувати текстуростворення, описати процес наноструктурування при інтенсивних пластичних деформаціях під тиском. На базі цієї моделі запроваджено поняття товстої (фрактальної) поверхні навантаження та облака внутрішніх напружень.

Інтенсивна пластична деформація (ІПД) і субмікрокристалічні (СМК) матеріали

У 1999 р. ним запропоновано новий метод ІПД - гвинтову екструзію (ГЕ). Починаючи з 2000 р., з ГЕ були пов'язані численні держбюджетні і конкурсні теми ДонФТІ НАН України, престижні гранти різноманітних фондів і партнерські проекти найвідоміших світових компаній («General Electric», «Boeing»), у яких він був відповідальним виконавцем або керівником.

ГЕ дозволяє отримувати зразки металів і сплавів з СМК структурою. Зараз ГЕ є одним із основних методів ІПД і застосовується, крім України, в лабораторіях Франції, Японії, Китаю, Австралії, Південної Кореї, Ірану, Чехії, Індії. В англійській літературі ГЕ відома як «Twist Extrusion». У 2017 році вийшов огляд з ГЕ, написаний представниками кількох наукових центрів, в яких цей процес застосовується.

У 2014 р., будучи запрошеним професором в лабораторії Labex DAMAS Університету Лотарінгії (м.Мец, Франція), Я.Ю.Бейгельзімер запропонував новий процес отримання листових матеріалів з СМК структурою - Plastic Flow Machining (PFM). На нього отриманий патент Франції, в якому Я.Ю.Бейгельзімер є одним із співавторів. PFM вже досить добре досліджений в Labex DAMAS. Йде підготовка до передачі його в промислове виробництво алюмінієвих смуг і стрічок.

Робота з промисловістю

Я.Ю.Бейгельзімер активно працює з промисловими підприємствами. До 2014 р. його розробки використовувалися в НВО "Донікс" при проектуванні процесу багато-струмкової прокатки та прокатки сортових профілів, в ДП "Техноскрап" ТОВ "Скрап" та ТОВ "Донсплав" (Донецьк) при впровадженні процесів пресування. В даний час він керує роботами по підвищенню показників якості деталей з титанових і залізо-нікелевих сплавів шляхом застосування гвинтової екструзії на АТ «Мотор Січ» (Запоріжжя) та консультує ТОВ «Броварський алюмінієвий завод» з питань ресурсозбереження шляхом застосування інтенсивної пластичної деформації при виробництві алюмінієвих профілів.

Освітня діяльність: Підготував сім кандидатів і одного доктора технічних наук. З 1996 по 2014 р. викладав як професор у Донецькому Національному технічному університеті.

З 1992 по 2014 р. був головою секції фізики Донецького обласного науково-технічного відділення Малої академії наук (МАН) України. Його учні багато разів були переможцями та призерами Всеукраїнських конкурсів МАН та Міжнародних конкурсів з фізики.

Робота в спеціалізованих і наукових радах: Член ради з захисту докторських дисертацій при Донбаській Державній машинобудівній академії, член ради НАН України "Високі тиски в матеріалознавстві", член секції "Фізика міцності та пластичності" ради НАН України «Фізика металевих стану». Був членом рад по захисту докторських дисертацій в університетах Франції.

Міжнародна діяльність: Член Міжнародних наукових комітетів "International Conference on Technology of Plasticity (ICTP)": Aachen, Germany, 2011; Nagoya, Japan, 2014; Cambridge, UK, 2017. Голова секції «Порошкове матеріалознавство» ICTP-2017 (Cambridge). Член Міжнародного наукового комітету "17th International Conference on Metal Forming", Toyohashi, Japan, 2018. Член Міжнародного товариства TMS.

Був запрошеним професором в університетах Франції, Польщі, Південної Кореї, США, Німеччини.

Член редколегій журналів: "International Journal of Material and Mechanical Engineering" та "International Journal of Metallurgical & Materials Engineering".

Рецензент журналів: «Materials Science and Engineering: A» «Journal of Materials Processing Technology», «Journal of Applied Physics», «Applied Mathematical Modelling», «Materials Science Forum», «Intern. Journal of Mater Forming», «Intern. Journal of Materials Research», «Intern. Journal of Advanced Manufacturing Technology», «Journal of Testing and Evaluation».

Нагороди: Грамота Верховної Ради України, 2015 р. Премія ім. І.М.Францевича Національної академії наук України за видатні наукові роботи в галузі фізичного матеріалознавства: за цикл праць «Нові методи модифікування конструкційних, зокрема, порошкових матеріалів із застосуванням високих тисків та інтенсивних зсувних деформацій» (в співавторстві), 2011 р. Відзнака Міжнародного видавництва ELSEVIER та журналу «Material Science and Engineering: A»: «Найбільш цитованому автору 2011 року» (імпаکت-фактор журналу - 3,242). Подяка Міжнародного товариства TMS (США).

Довідку затверджено на засіданні Вченої ради ІПМ НАН України Донецького фізико-технічного інституту ім. О.О. Галкіна НАН України 11 грудня 2017 р., протокол № 10.

Простой сдвиг под давлением в материаловедении и технологиях обработки металлов:

- вихри и перемешивание в твердых телах,
- субмикроструктурные наноструктурные материалы,
- винтовая экструзия,
- «пластическое резание»,
- консолидация порошков,
- рециклирование вторичных алюминиевых сплавов,
- деформационная гомогенизация,
- материалы с внутренней архитектурой.

Введение

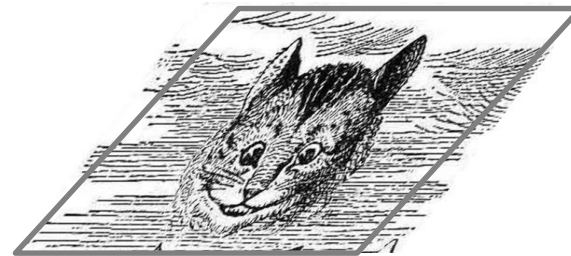
Ниже собраны основные результаты моей работы, в той или иной мере связанные с исследованием деформации по схеме простого сдвига, а также с ее применением для формирования структуры и свойств металлических материалов.

Должен признаться, что после многих лет, посвященных изучению этого предмета, главное, что я могу о нем сказать: «Имя его обманчиво, а предмет это сложный и таит в себе еще много загадок и скрытых возможностей».

DOWN THE

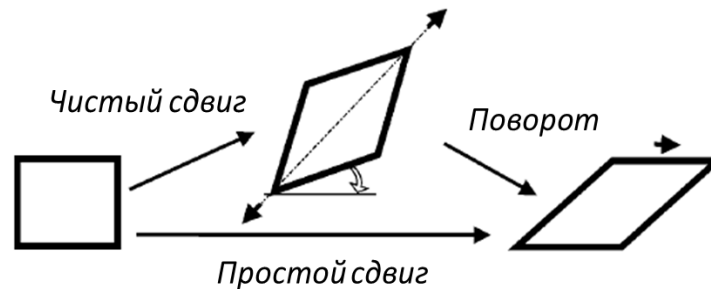


John Tenniel. Alice in Wonderland



Простой сдвиг

На рисунках в учебниках «простой сдвиг» похож на «чистый сдвиг» и отличается от него лишь поворотом.



Одно из основных допущений механики сплошных сред – принцип материальной независимости от системы отсчета – постулирует, что поворот не влияет на механические свойства материалов. В соответствии с этим, в математической теории пластичности введено понятие «эквивалентной деформации» e , уравнивающей действие разных видов деформации на материалы. Проблемы начинаются при больших значениях e , превышающих 2-3 единицы. Более чем 25-летний опыт исследований в области интенсивных пластических деформаций (severe plastic deformation), направленных на получение субмикроструктурных структур в металлах и сплавах, свидетельствует об исключительности простого сдвига и его больших возможностях в плане создания новых материалов. Особенности простого сдвига по отношению к чистому сдвигу противоречат постулату механики.

Ниже, после краткой исторической справки, приведены основные тезисы наших работ по устранению этого противоречия, а также исследованию и применению эффектов простого сдвига при обработке металлических материалов давлением.

Краткая историческая справка

По-видимому, Н.Треска в середине 19 века впервые обнаружил, что твердые тела могут течь подобно жидкостям, без деформационного упрочнения. Этот вывод он сделал на основе экспериментов по продавливанию отверстий в толстых металлических плитах, когда по поверхности выдавливаемого цилиндра осуществлялся простой сдвиг [1].

Первые систематические исследования больших деформаций металлов простым сдвигом выполнил лауреат Нобелевской премии Р.Бриджман, который предложил оригинальный метод кручения дисков под высоким давлением [2].



P. Bridgman у своей установки, 1935 г.

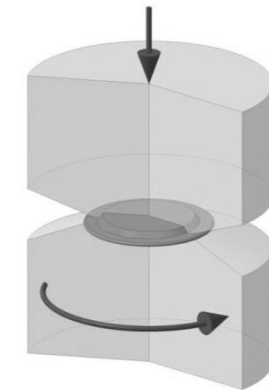
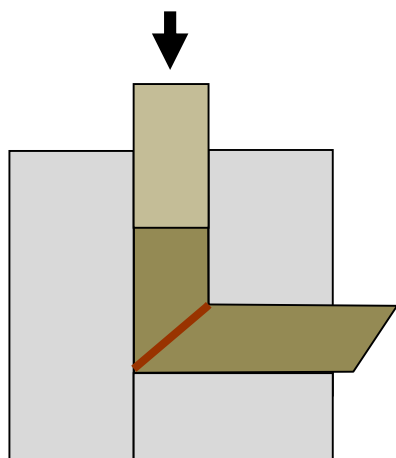
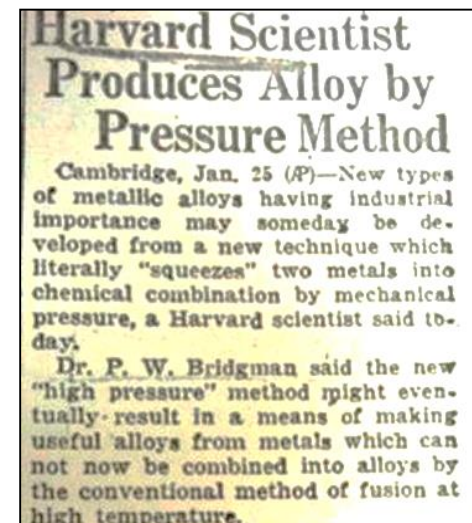


Схема НРТ

В последующем этот метод получил название "High pressure Torsion" (НРТ) и стал основным рабочим инструментом в исследованиях по получению субмикроструктурных наноструктурных материалов путем интенсивных пластических деформаций (ИПД) металлических образцов [3].

P. Bridgman был первым, кто предположил, что особенности простого сдвига металлов обусловлены проявлением других физических механизмов деформации, чем те, что действуют при растяжении и сжатии. Он показал, что метод НРТ позволяет осуществлять *холодное сплавление* порошков разных металлов и получать при этом уникальные соединения.

*Вырезка из газеты 1935 г.
Интервью с P. Bridgman*

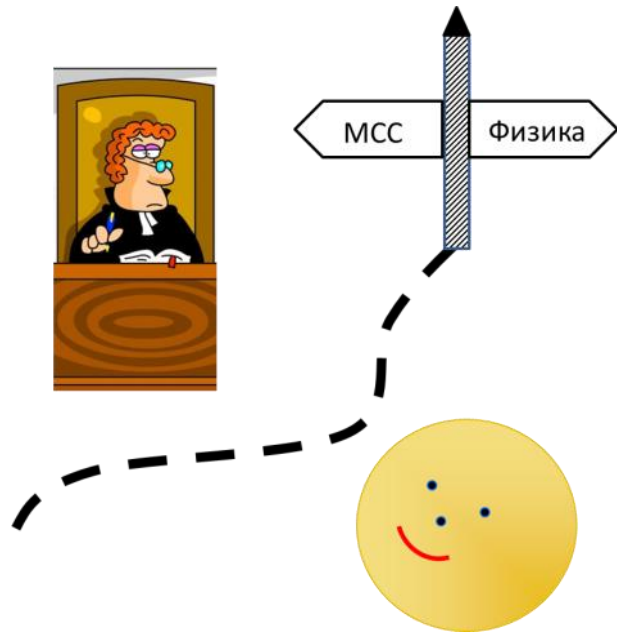


Следующий важный шаг в изучении простого сдвига сделал В.М.Сегал, который в 70-х годах предложил и разработал метод равноканальной угловой экструзии [4]. Сейчас это второй по распространенности метод ИПД, который получил название “Equal Channel Angular Pressing” (ЕСАР). В.М.Сегал выполнил комплекс исследований по выявлению и обоснованию особенностей в формировании микроструктуры материалов при простом сдвиге.

Схема ЕСАР

1. Bell, J. Mechanics of Solids. Springer–Verlag.-1984
2. Bridgman P.W. Phys. Rev. 48, 825–847 (1935)
3. Valiev R.Z. Nature Mater. 3, 511-516 (2004)
4. Процессы пластического структурообразования металлов / Сегал В.М. и др. Минск: Наука и техника.— 1994.— 232 с.

Наша гипотеза



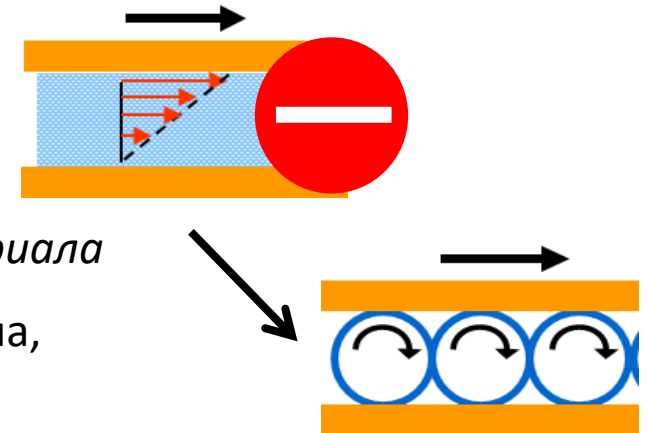
Не подпадает под «юрисдикцию» механики

Это инициирует вихревые движения в структуре материала, со всеми вытекающими отсюда последствиями: быстрым массопереносом, перемешиванием и т.д.

Наша гипотеза состоит в том, что поворот при простом сдвиге происходит внутри материальной точки (представительного объема) твердого тела, т.е. вне рамок модели сплошной среды, а потому не подпадает под «юрисдикцию» ее постулата.

Если механизмы деформации представительного объема материала не допускают простой сдвиг, то связанный с ним поворот реализуется в виде жестких вращений внутри представительного объема.

Невозможность простого сдвига в структуре материала



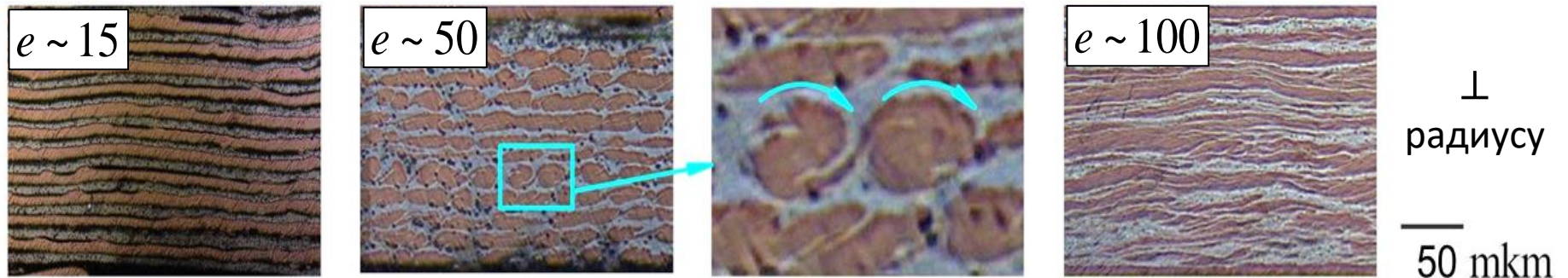
Вращения

- Y. Beygelzimer, Materials Science Forum V.683, 2011
- Y. Beygelzimer, R.Z. Valiev, V.Varyukhin, Materials Science Forum V. 667-669, 2011

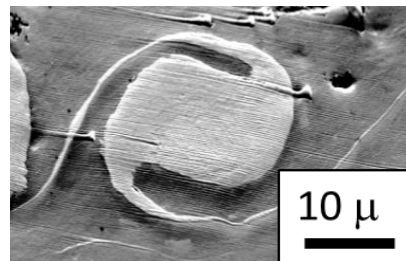
Потеря устойчивости пластического течения, вихри, складки и перемешивание при НРТ

Новизна:

- Показано, что при отсутствии скоростного упрочнения, стационарный режим НРТ возможен лишь при степенном законе деформационного упрочнения материала.
- Показано, что при больших деформациях НРТ, слоистое течение материала теряет устойчивость, возникают вихри и складки, которые приводят к перемешиванию в объеме образца.



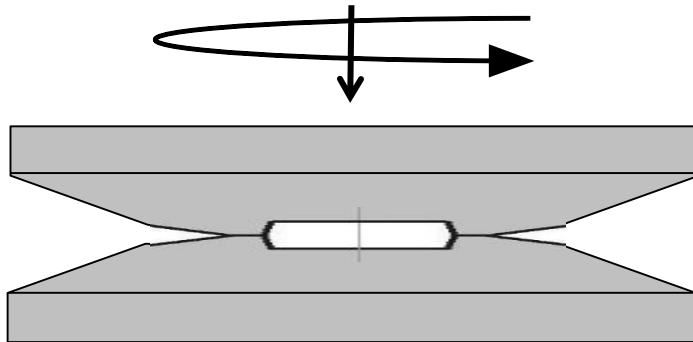
Перемешивание слоев Cu и Al с ростом деформации НРТ



*Вихрь Ni при НРТ
многослойного Ni-Al*

- Y. Beygelzimer, Mat. Sc. Forum 683 (2011)
- Y. Beygelzimer, R. Kulagin, et al. Beilstein J. Nanotech. 7 (2016)
- R. Kulagin, Y. Beygelzimer et al. Proc. Eng. 207 (2017)
- R. Kulagin, Y. Beygelzimer et al. Mat. Sc. and Eng. 194 (2017)

Складки и перемешивание при НРТ



$h = 1.0 \text{ mm}$, $D=10 \text{ mm}$, $P= 5 \text{ GPa}$,
 $T= 25 \text{ C}$, $\omega= 0.2 \text{ rev. per min.}$

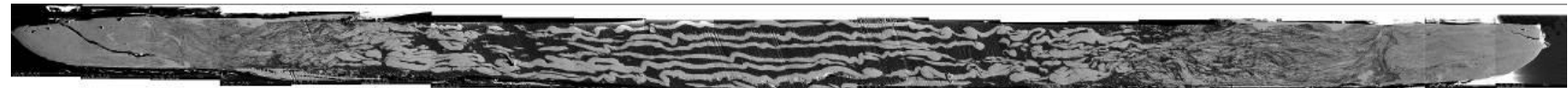
Слоистый образец Al-Ni (диаметральное сечение)



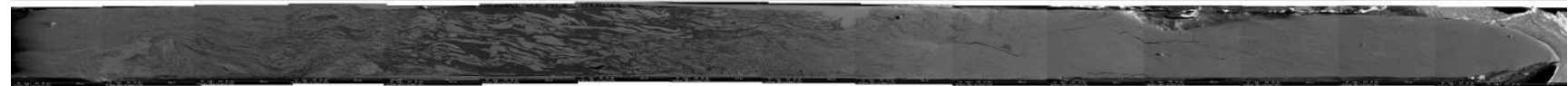
2 обор.



5 обор.

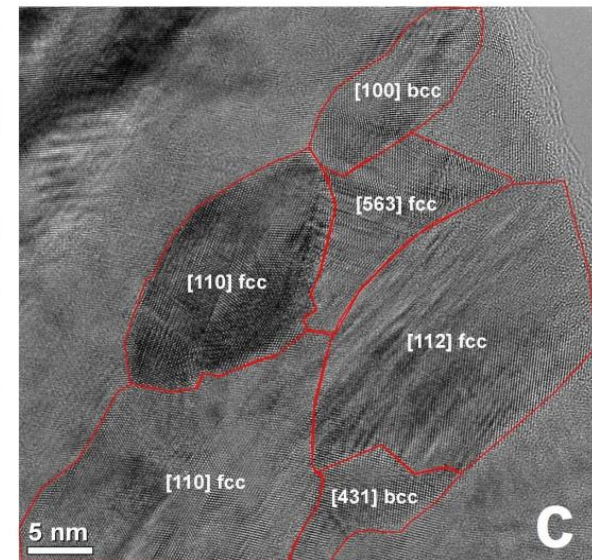
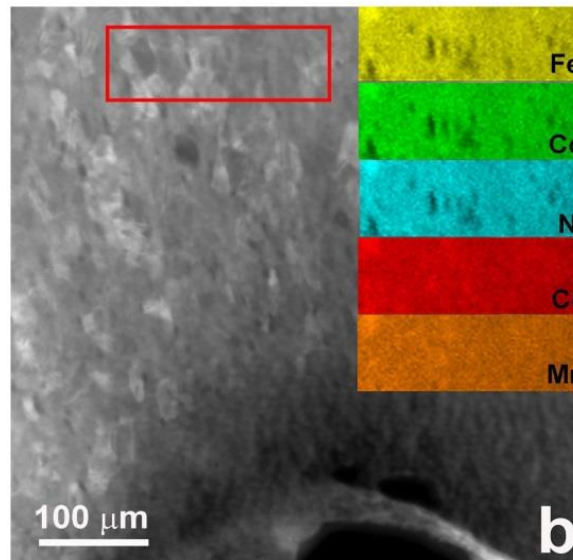
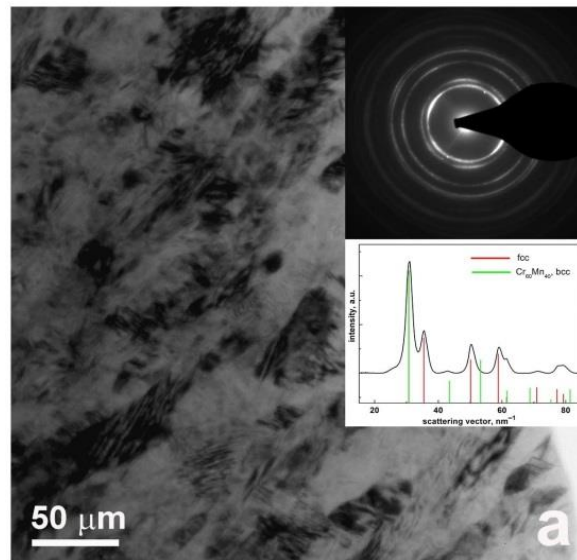
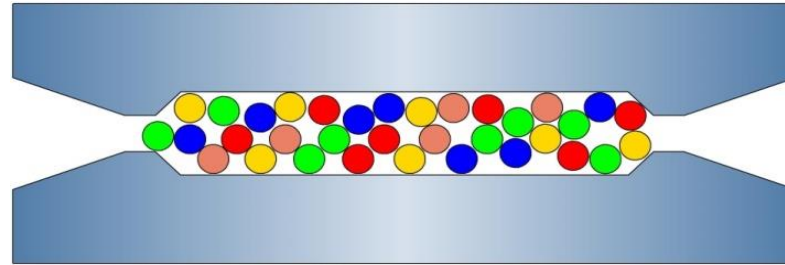


10 обор.



Перемешивание и сплавление при НРТ

CoCrMnFeNi

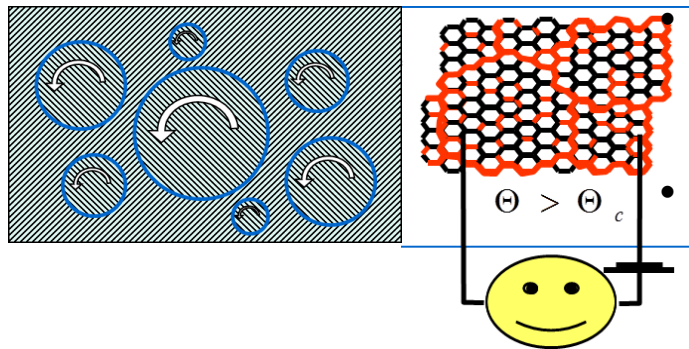
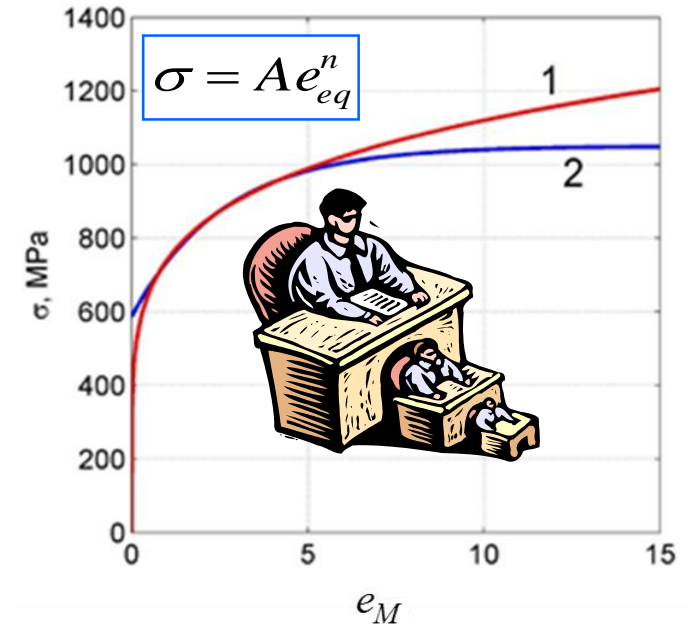


- R.Kulagin , Y.Beygelzimer , Y.Ivanisenko , A.Mazilkin and H.Hahn, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 194, 2017

Геометрия и физика простого сдвига

Новизна:

- Показано, что степенной закон деформационного упрочнения металлов связан с автомодельным развитием сети высокоугловых границ;



Развит подход к моделированию деформации поликристаллов, основанный на применении изометрических преобразований с разрывом; В его рамках предложен механизм деформации, основанный на перколяции сдвига по сети высокоугловых границ, который естественным образом объясняет отсутствие упрочнения и вихревые движения при больших деформациях простого сдвига.

- Я.Е.Бейгельзимер, ФТВД, Т.20, №4, 2010
- Y.Beygelzimer, N.Lavrinenko, arXiv: 1206.5055v1, 2012
- Y.Beygelzimer, L.S.Toth, J.J.Jonas, Adv. Eng. Mater, V.17, N12, 2015

Простой и чистый сдвиги образуют две разные группы преобразований

Новизна

- Показано, что некоторые особенности простого сдвига обусловлены групповыми свойствами связанного с ним геометрического преобразования:

Простой сдвиг


$$\mathbf{x} = \mathbf{S}\mathbf{X} \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{S}(\gamma_2)\mathbf{S}(\gamma_1) = \mathbf{S}(\gamma_1 + \gamma_2)$$

Чистый сдвиг


$$\mathbf{x} = \mathbf{P}\mathbf{X} \quad \mathbf{P}(\lambda) = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{P}(\lambda_2)\mathbf{P}(\lambda_1) = \mathbf{P}(\lambda_2\lambda_1)$$

- Y.Beygelzimer, N.Lavrinenko, arXiv:1206.5055v1, 2012
- Y.Beygelzimer, L.S.Toth, J.J.Jonas, Adv. Eng. Mater, V.17, N12, 2015

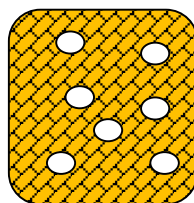
Континуальная теория пластической деформации материалов со структурой

Новизна : Учитывается как зарождение, так и залечивание пор при пластической деформации под давлением. Поры возникают из-за несовместности пластической деформации структурных элементов материала

Основные допущения:



- Дополнительность процессов фрагментации и разрушения;



- Пористое тело со структурным каркасом;



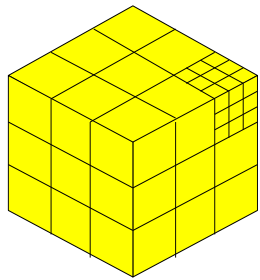
- Самоподобное развитие сети высокоугловых границ.

Применение:

- Пластическая деформация порошковых и пористых тел,
 - Фрагментация и разрушение при пластической деформации,
 - Трение как простой сдвиг материала со структурой.
-
- Я.Е.Бейгельзимер и др. Порошковая металлургия, N12, 1986
 - Ja.E. Beigelzimer, et al. *Eng. Fract. Mech.* V48, N5, 1994
 - Я.Е.Бейгельзимер и др. *Трение и износ*, N3, 1993
 - Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Эфрос Б.М. Физическая механика гидростатической обработки материалов. -Донецк: ДонФТИ НАНУ, 2000.-192 с.
 - Y.Beigelzimer, *Mech. of Mater.*, V37, N7, 2005

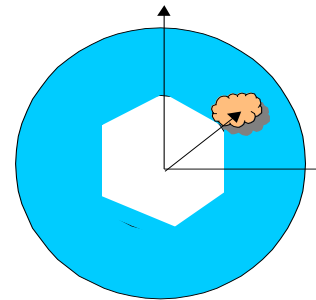
Модель упруго-пластической деформации поликристаллов

Новизна. Модель реализована в виде многоуровневого клеточного автомата. Учитывает повороты и фрагментацию кристаллов. Приводит к новым геометрическим образам: толстой поверхности текучести и облаку внутренних напряжений.



Основные допущения:

- Самосогласованное поле,
- Многоуровневый клеточный автомат,



- Толстая поверхность текучести,
- Облако внутренних напряжений.

Применение:

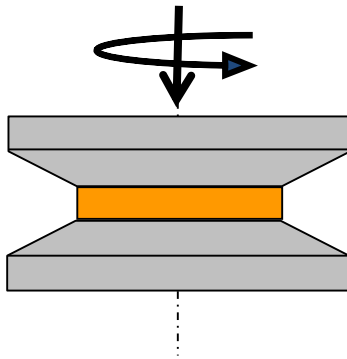
- Моделирование сложного нагружения,
 - Расчет микронапряжений,
 - Расчет текстур.
-
- Я.Е.Бейгельзимер и др. *Физика металлов и металловедение*, Т. 87, N6, 1999
 - Y. Beygelzimer, A.Spuskanyuk, *Philosophical Magazine A*, V79, N10, 1999
 - Y. Beygelzimer, A.Spuskanyuk, V.Varykhin In Rec. Develop. in Computer Modeling of Powder Metallurgy Processes, A.Zavaliangos and A.Laptev (Eds), IOS Press, 2001

Процессы деформации металлов



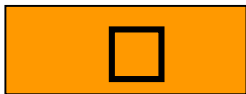
Основаны на простом сдвиге:

Кручение под давлением, равноканальное угловое прессование, винтовая экструзия и т.д.



Размеры постоянны.

Изменяют структуру и свойства.



До

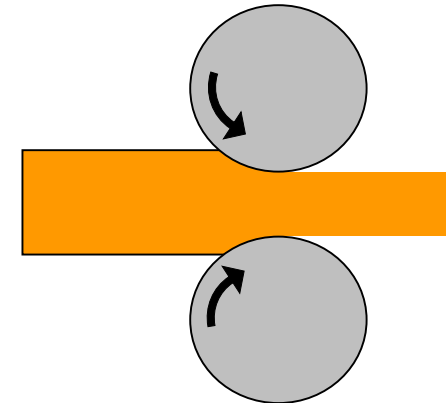


После

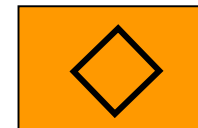


Традиционные:

Прокатка, прессование, волочение и т.д.



Изменяют размеры, структуру, свойства.

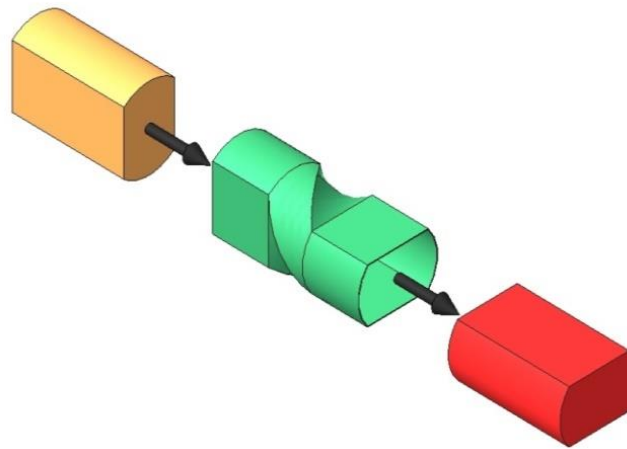


До



После

Винтовая экструзия (Twist Extrusion)



Обзоры:

- Beygelzimer, Y., Varyukhin, V., Kulagin, R. and Orlov, D. (2017) 'Twist Extrusion' in Severe Plastic Deformation Technology, Rosochowski, A. (ed.), pp. 202–234, Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland
- Y. Beygelzimer, R. Kulagin, Y. Estrin, L. S. Toth, H. S. Kim, M. I. Latypov, Twist Extrusion as a Potent Tool for Obtaining Advanced Engineering Materials: A Review // *Advanced Engineering Materials*, V.19, N8, 2017
- Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov, D. Orlov, Useful properties of twist extrusion // *Materials Science and Engineering: A*, V. 503, 2009
- Я.Е.Бейгельзимер и др. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций. Донецк: ТЕАН, 2003 г., 85 с.

Краткая информация о процессе

Предложен Я. Бейгельзимером в 1999 г.

При винтовой экструзии (ВЭ) призматический образец продавливают через матрицу с каналом, содержащим два призматических участка, разделенных участком винтовой формы. На выходе из канала к образцу прикладывают противодавление.

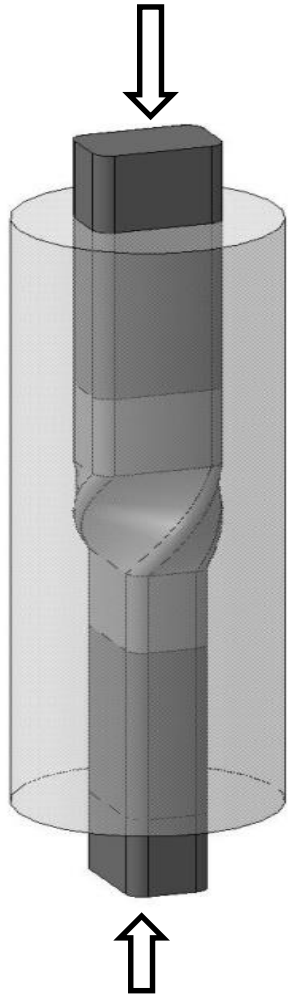
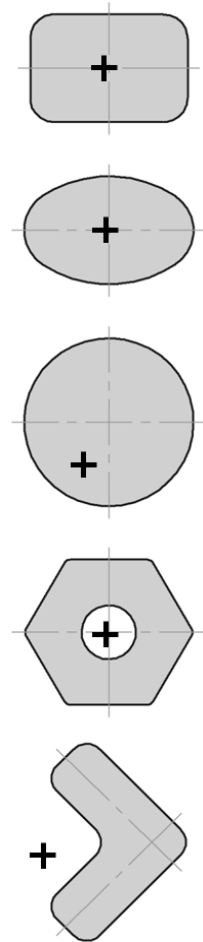


Схема ВЭ

Применение:

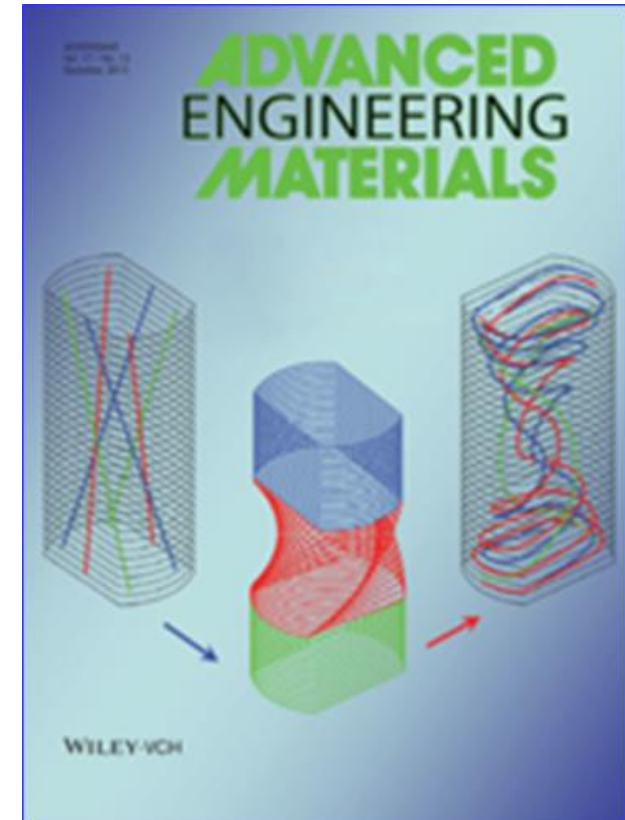
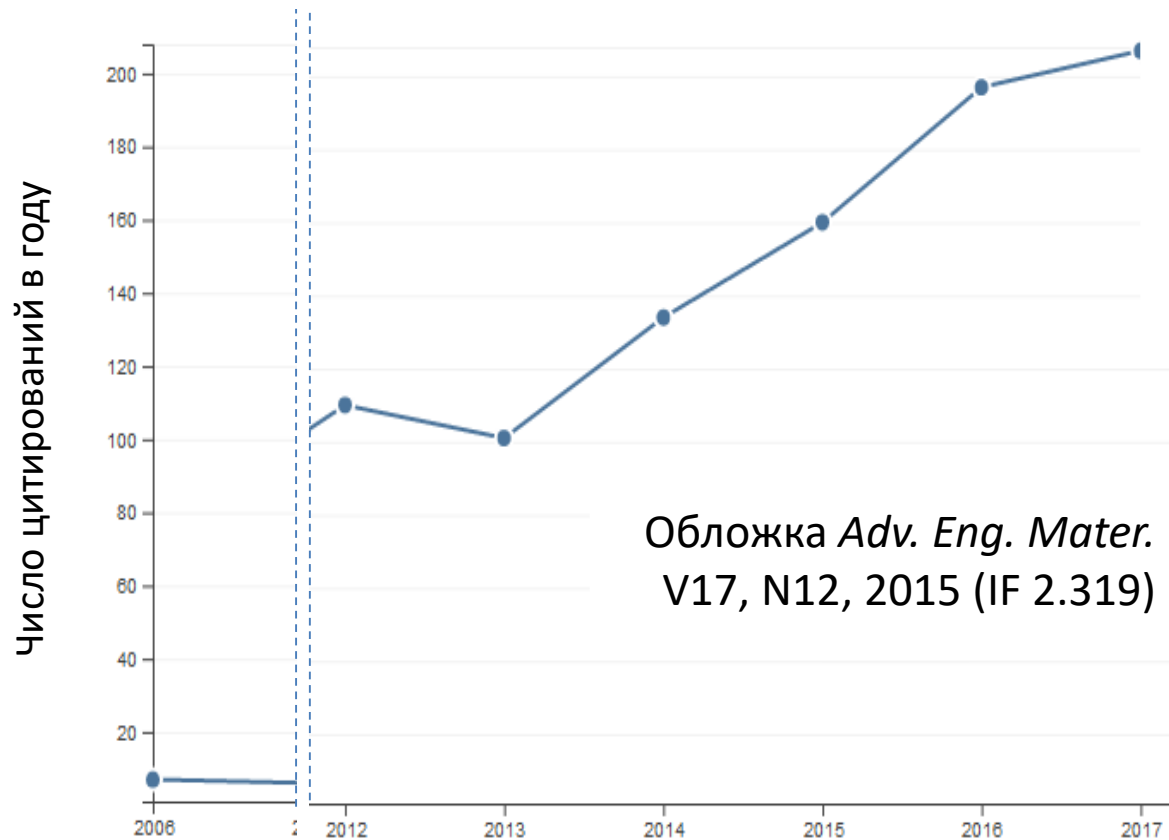
- Измельчение зерен до субмикронных размеров, формирование наноструктур,
- Увеличение предела текучести в 1,5-3 раза,
- Фрагментация хрупких включений,
- Перемешивание, гомогенизация,
- Физико-химические реакции,
- Значительное повышение пластичности вторичных алюминиевых сплавов,
- Консолидация порошковых и пористых материалов до беспористого состояния,
- Создание архитектурных материалов.



+ - ось канала
Профили сечения
винтовых матриц

Винтовая экструзия в лабораториях

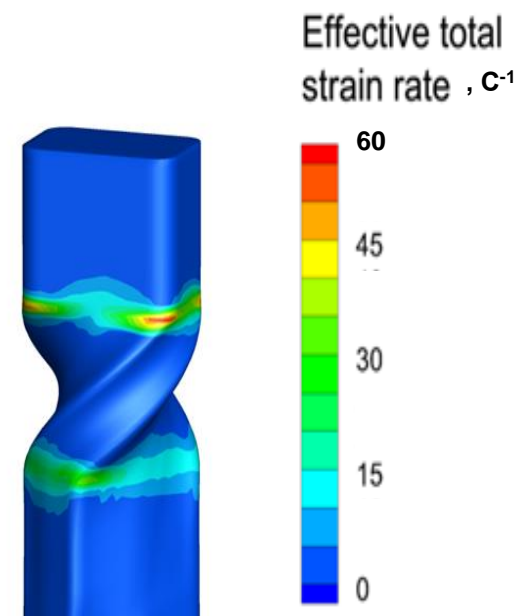
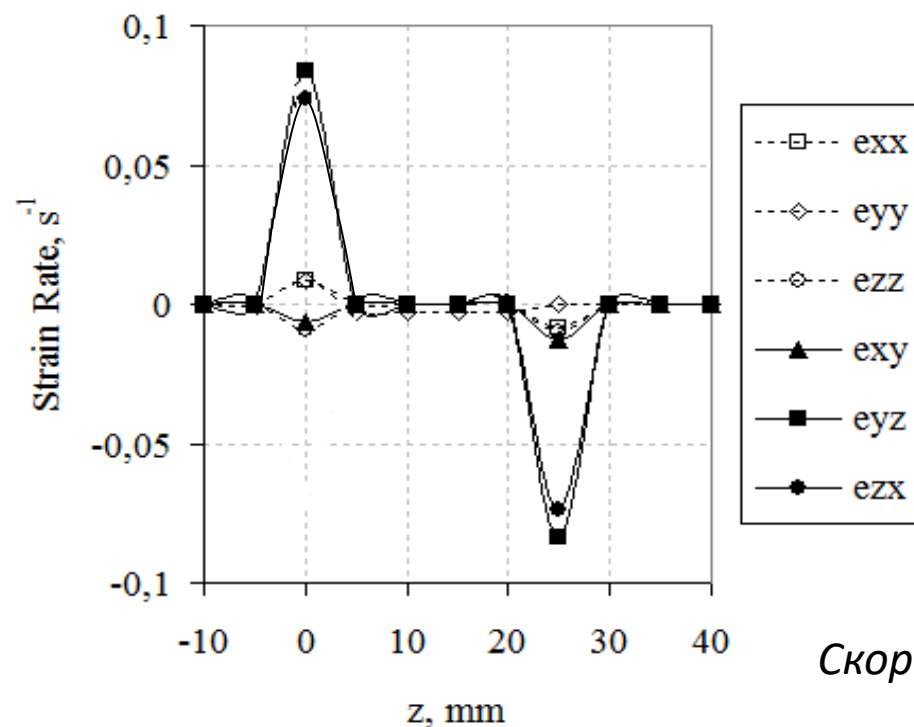
Применяется в лабораториях Украины, Австралии, Германии, Индии, Ирана, Китая, США, Франции, Чехии, Южной Кореи, Японии.



Цитируемость (по годам) статей по винтовой экструзии,
по данным *Web of Sciences*

Простой сдвиг под давлением в тонких слоях - главное в винтовой экструзии

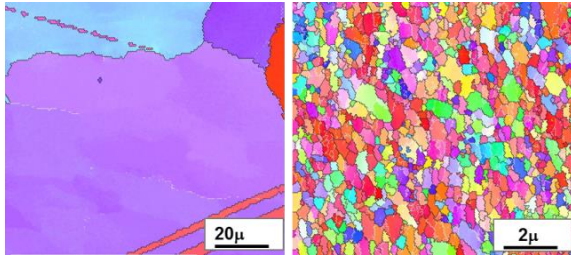
Основная деформация осуществляется простым сдвигом на входе и выходе из винтового участка матрицы. Деформация Мизеса увеличивается от оси к периферии образца и, в среднем по сечению, за один проход составляет 1.0-1.5. Гидростатическое давление имеет порядок напряжения течения материала. Размеры образца после ВЭ равны его исходным размерам, поэтому возможны повторные проходы ВЭ.



Скорость деформации при ВЭ (расчет в DEFORM 3D)

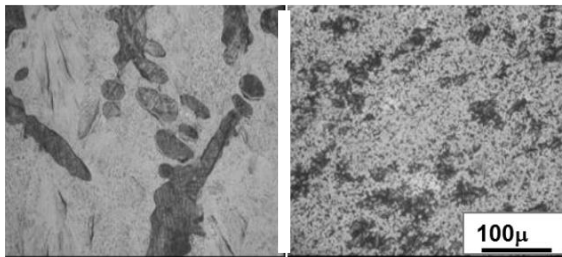
Эффекты винтовой экструзии

Ti



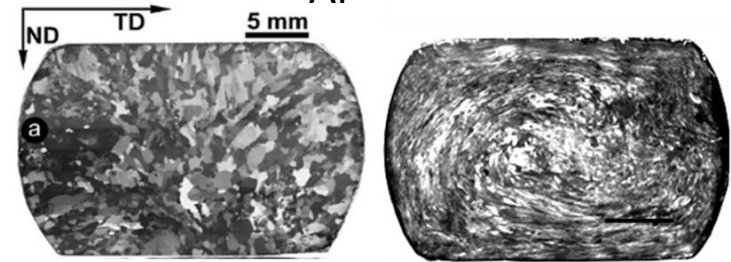
Измельчение зерен до субмикронных размеров

МФ1 (Cu, 9%P)



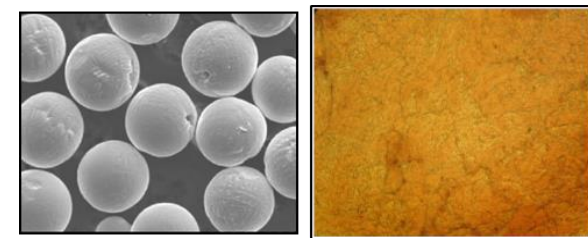
Фрагментация и растворение включений. Аномально быстрый массоперенос

Al

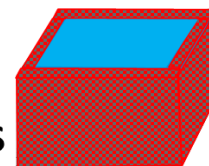
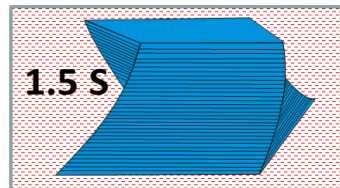
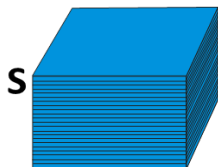


Вихрь в объеме образца

Cu, 200 μ



Консолидация порошков. Удаление пористости



ВЭ в активных средах: захват вещества на поверхности и затягивание в объем

Примеры лабораторных установок винтовой экструзии:



ДонФТИ НАН Украины. Создана в рамках инновационного проекта НАН Украины в 2008 г. Разработка ДонФТИ НАН Украины и ДГМА.

Макс. давление - 2000 МПа

Макс. противодействие – 700 МПа

Нагрев инструмента- до 400°C

Скорость экструзии – до 10 mm/sec

Размер заготовок – 30 x 40 x 140 mm³



Laboratory of Excellence "DAMAS", University of Lorraine - Metz, France. Разработка ДонФТИ НАН Украины и ДГМА, 2011 г.

Макс. давление - 1500 МПа

Макс. противодействие – 500 МПа

Нагрев инструмента- до 200°C

Скорость экструзии – от 3 до 20 mm/sec

Размер заготовок – 15 x 20 x 50 mm³

Возможности винтовой экструзии в производстве

Примеры применения:

- Субмикроструктурные титановые сплавы для авиации и медицины,
- Деформационная гомогенизация алюминиевых сплавов перед экструзией,
- Рециклирование вторичного алюминия,
- СМК материалы для micro-manufacturing (размеры изделий от 10 мкм до 10 мм).

Образцы изделий из материалов, обработанных ВЭ:



Установка ВЭ для обработки Fe-Ni и Ti сплавов на АО «Мотор Сич»



Разработка ДонФТИ НАН Украины,
ДГМА, АО «Мотор Сич», ЗНТУ

Программное обеспечение для проектирования технологии винтовой экструзии

TET
_ □ ×

Технология ВЭ			
Дата:	12.10.2009		
Название:	Производство нано-титана для медицины		
Материал	Титан VT1-0		
Объём материала	V	150,0	см ³
Длина заготовки	l	100,0	мм
Температура деформации	T	350	°
Сопротивление деформации	σ_s	250	МПа
Противодавление	p _{bp}	100	МПа
Коэффициент трения	f _{tp}	0,05	-
Необходимая степень деформации	e	1,5	-
Радиус описанной окружности	R	25,0	мм
Высота заготовки	h	24,2	мм
Ширина заготовки	b	48,5	мм
Длина винтового участка	l _d	8,1	мм
Шаг винтовой линии	h _s	81,3	мм
Длина фальшь заготовки	l _ф	8,1	мм
Угол поворота поперечного сечения	ϕ	36,0	°
Угол ската винтовой линии	β	62,6	°
Минимальная деформация за проход	e _{min}	0,43	-
Средняя деформация за один проход	e _{mean}	0,83	-
Кoeff. однородности деформации	k _e	0,41	-
Кол-во проходов	N	4	-
Давление экструзии	p	473,7	МПа
Сила экструзии	P	55,7	т

Схема калибровки винтовой матрицы

Оптимизация калибровки

Факторы		min	max
<input checked="" type="checkbox"/>	x1	11,0	3,0 11,0
<input checked="" type="checkbox"/>	x2	0,10	0,10 0,25
<input checked="" type="checkbox"/>	x3	1,00	0,50 1,00

Ограничения			
<input type="checkbox"/>	мин. деформация	e _{min}	-
<input type="checkbox"/>	макс. давление	p/σ _s	1

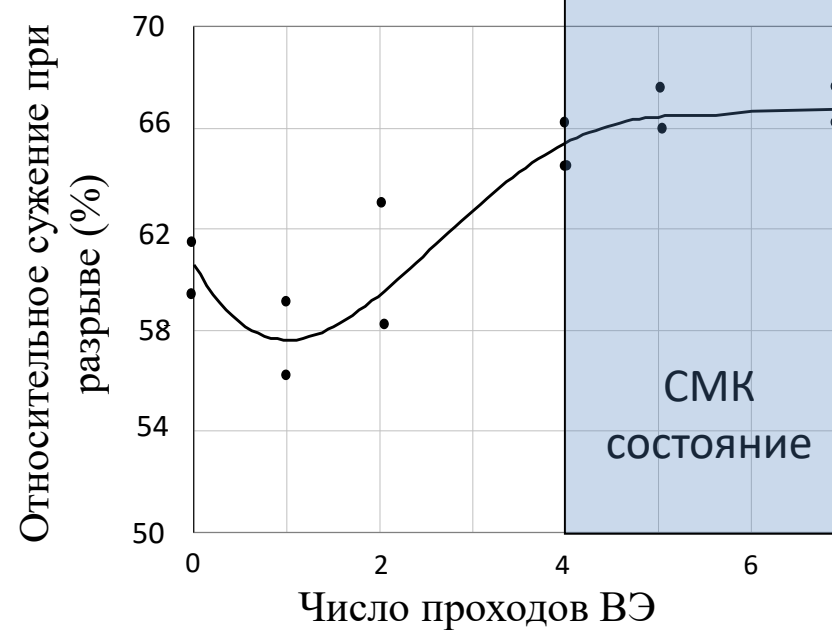
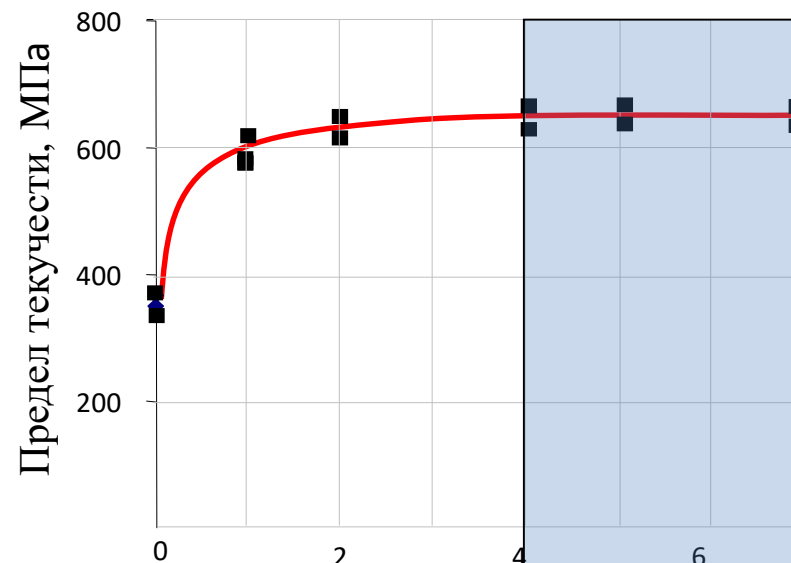
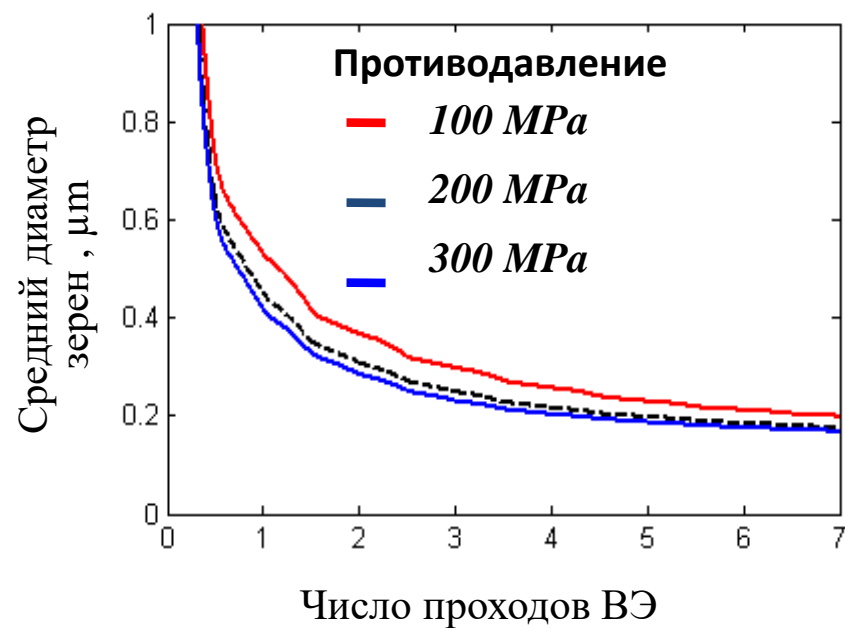
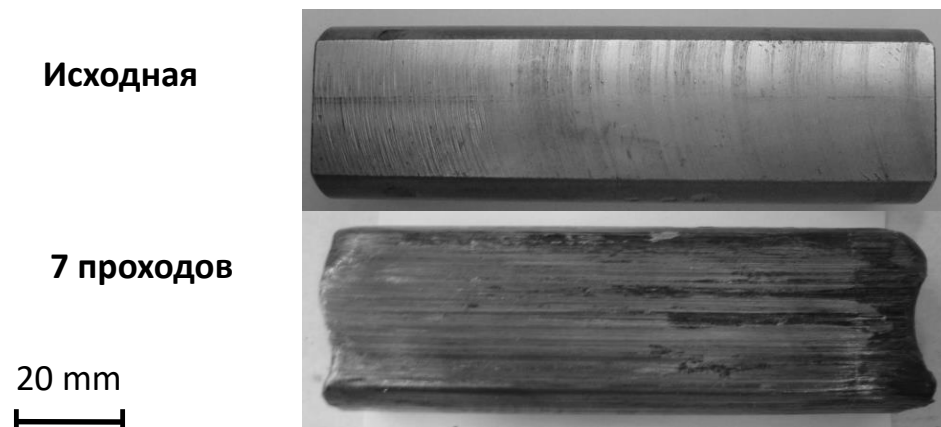
Критерии		λ	F ₀	F
e _{min}	◀ ▶		1,00	0,09
k _e	◀ ▶		0,25	0,60
p/σ _s	◀ ▶		1,00	0,72

Выполнить оптимизацию

Сохранить результаты

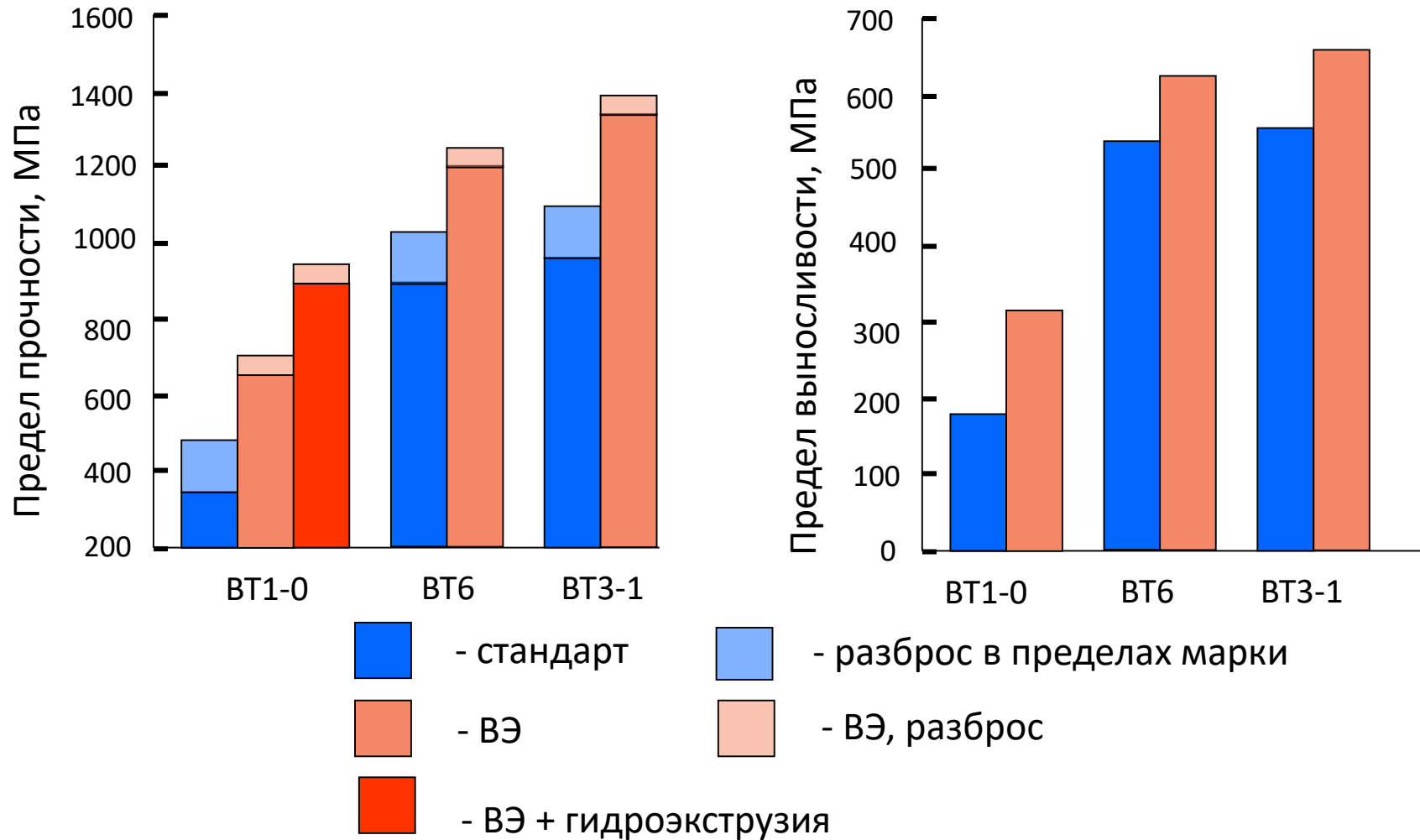
Пример. Обработка титана ВТ1-0 при 350°C

Искажения заготовки малы



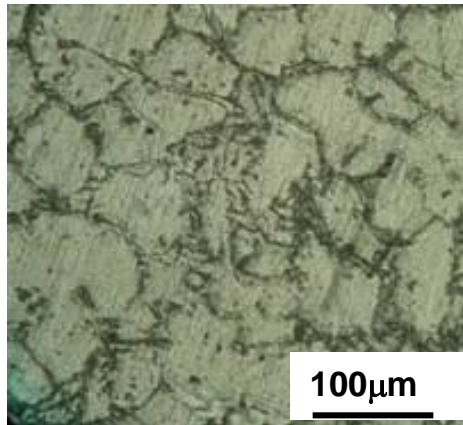
Пример: Упрочнение титановых сплавов

Совместно с ЗНТУ и АО «Мотор Сич»

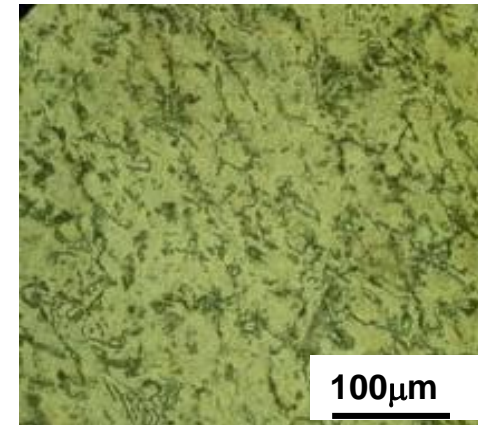


Пример. Улучшение свойств вторичных алюминиевых сплавов

Литой



После ВЭ



Main elements content	UTS, MPa	YS, MPa	EI, %	RA, %
Al 99,3%	96,5	84	11	17
Al 88% Si 9,5%	75,2	60	1,5	0
Al 93% Mg 2,28%	62	60	1,5	1

UTS, MPa	YS, MPa	EI, %	RA, %
159	137	21	70
203	180	12	13
324	269	3,8	11

- Шевелев А.И., Бейгельзимр Я.Е., Варюхин В.Н., Сынков С.Г., Рябичева Л.А., Решетов А.В. Деформационная обработка вторичного алюминия и алюминий содержащих отходов. "Ноулидж", Донецк, 2010.- 360 с.

“Plastic Flow Machining” («Пластическое резание»)



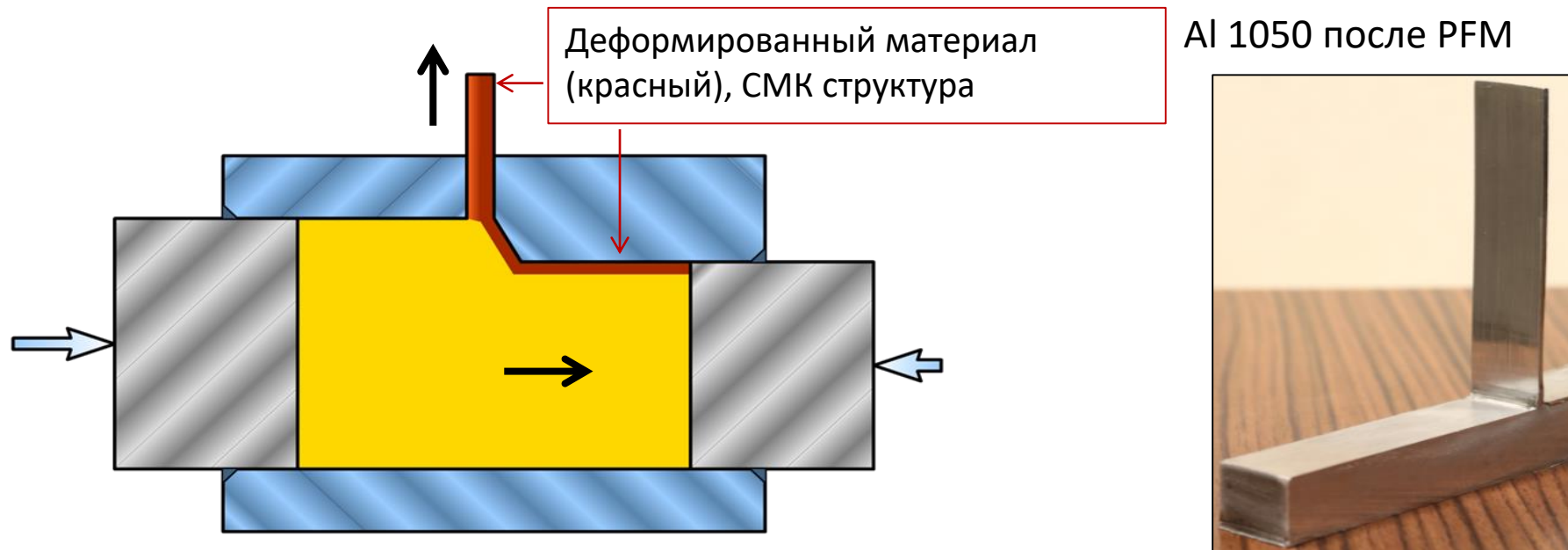
Naissance d'un brevet : activité expérimentale en hyperdéformation. Laboratoire LEM3, Metz, 2015.

Birth of a patent: experimental activity in hyperdeformation. LEM3 laboratory, Metz, 2015.

Первые эксперименты по новому процессу “Plastic Flow Machining” в 2015 г.
Фотография из центрального журнала “Parlementaires de France - La Magazine”,
сентябрь 2017, Франция

Plastic Flow Machining (PFM)

Особенности. В отличие от операций резания, отделение поверхностного слоя материала заготовки происходит под высоким давлением. Деформация осуществляется простым сдвигом. Величина деформации Мизеса достигает 3.0-3.5. Поток материала в боковой канал и величиной деформации можно управлять с помощью противодействия.

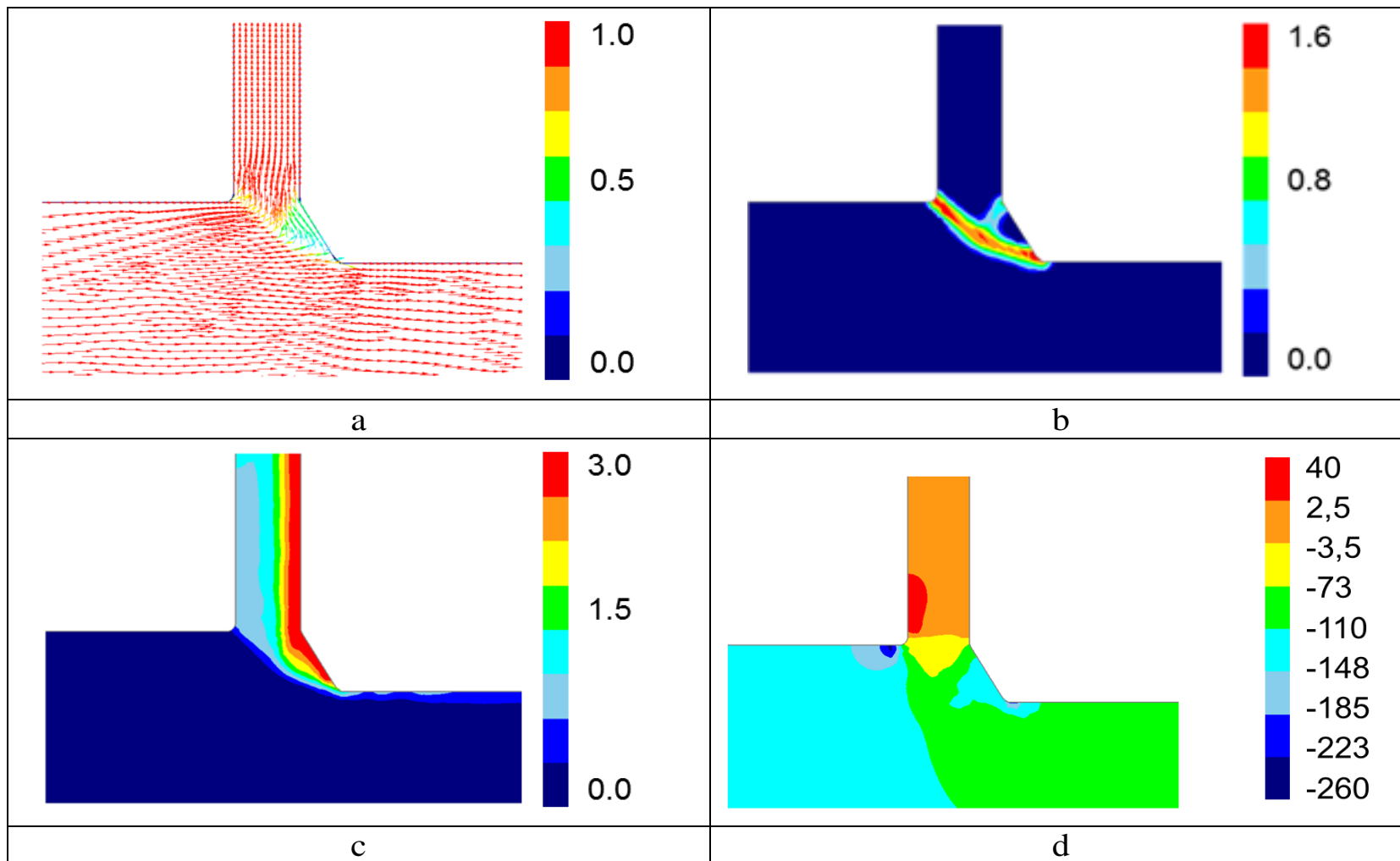


Применение. Получение листовых материалов (толщина от 0.1 мм до 2.0 мм) с СМК структурой. Формирование СМК поверхностных слоев в объемных заготовках (толщина слоя ~100 мкм). В настоящее время выполнены исследования, подготовлена передача технологии в промышленность.

Патент Франции: FR1557031, 2015,

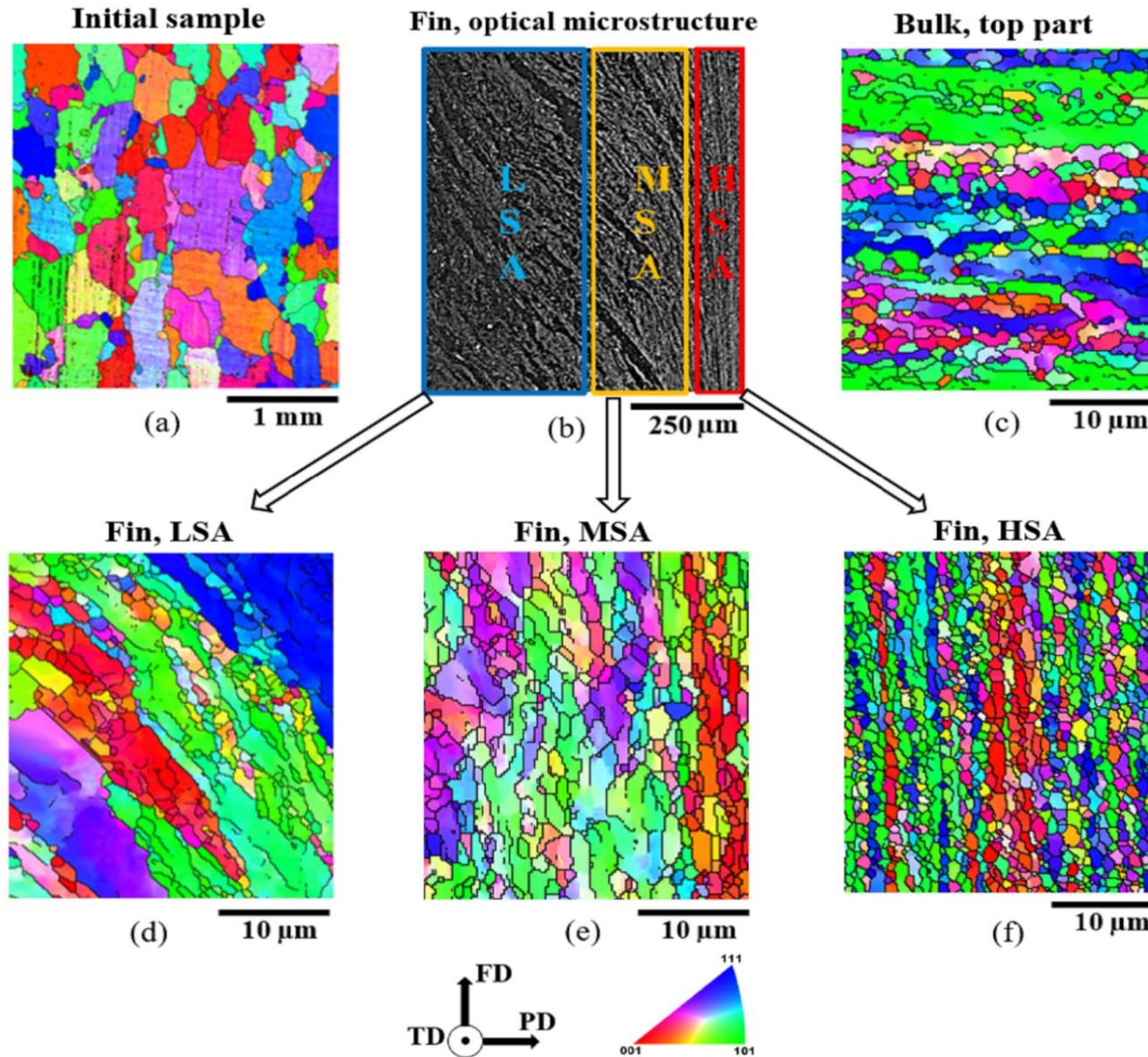
Universite de Lorraine (France) Y.Beygelzimer, L.Toth, J.-J.Fundenberger.

Характеристики напряженно-деформированного состояния заготовки Al1050 при PFM

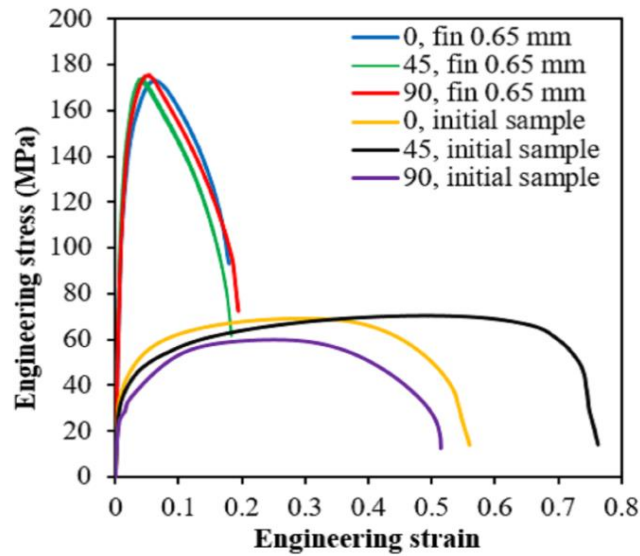


а- скорость, б- интенсивность скорости деформации,
с - эквивалентная деформация, d – среднее напряжение

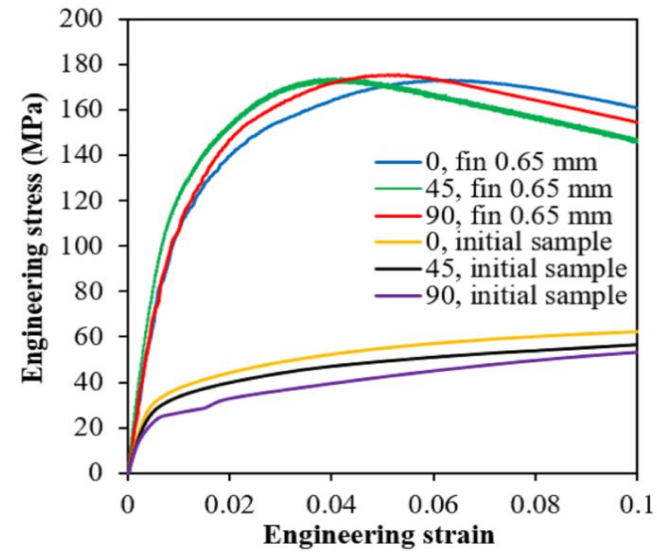
Микроструктуры образцов Al 1050 после PFM



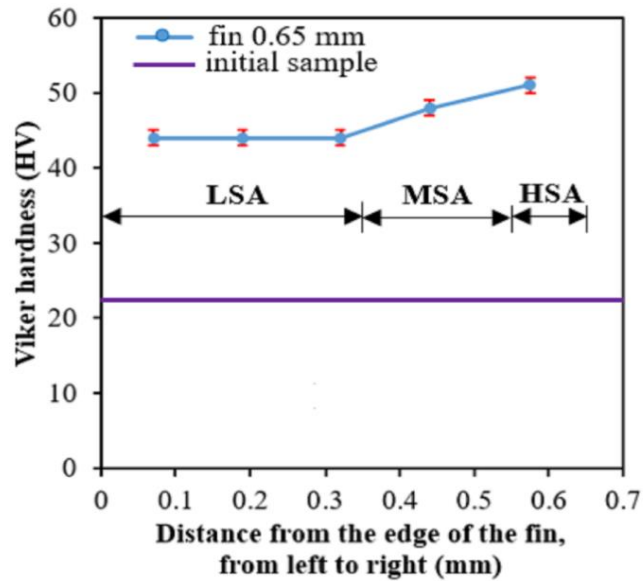
Механические свойства образцов Al 1050 после PFM



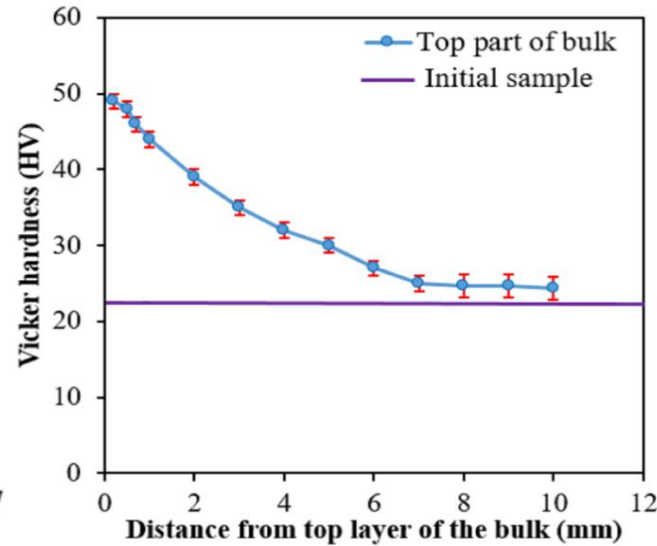
(a)



(b)

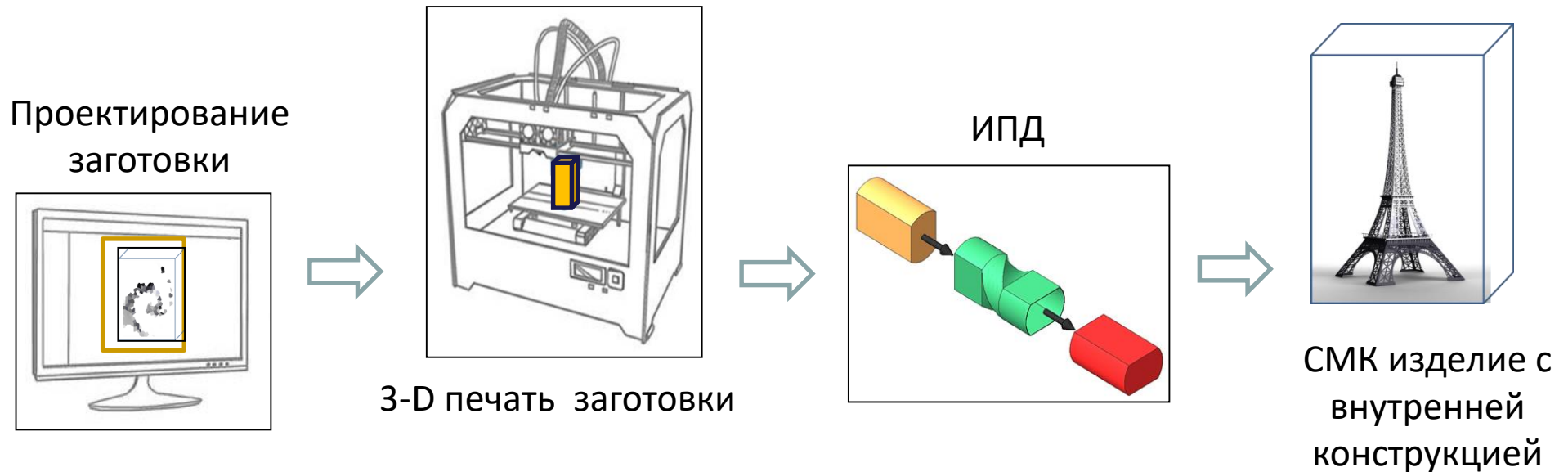


(c)



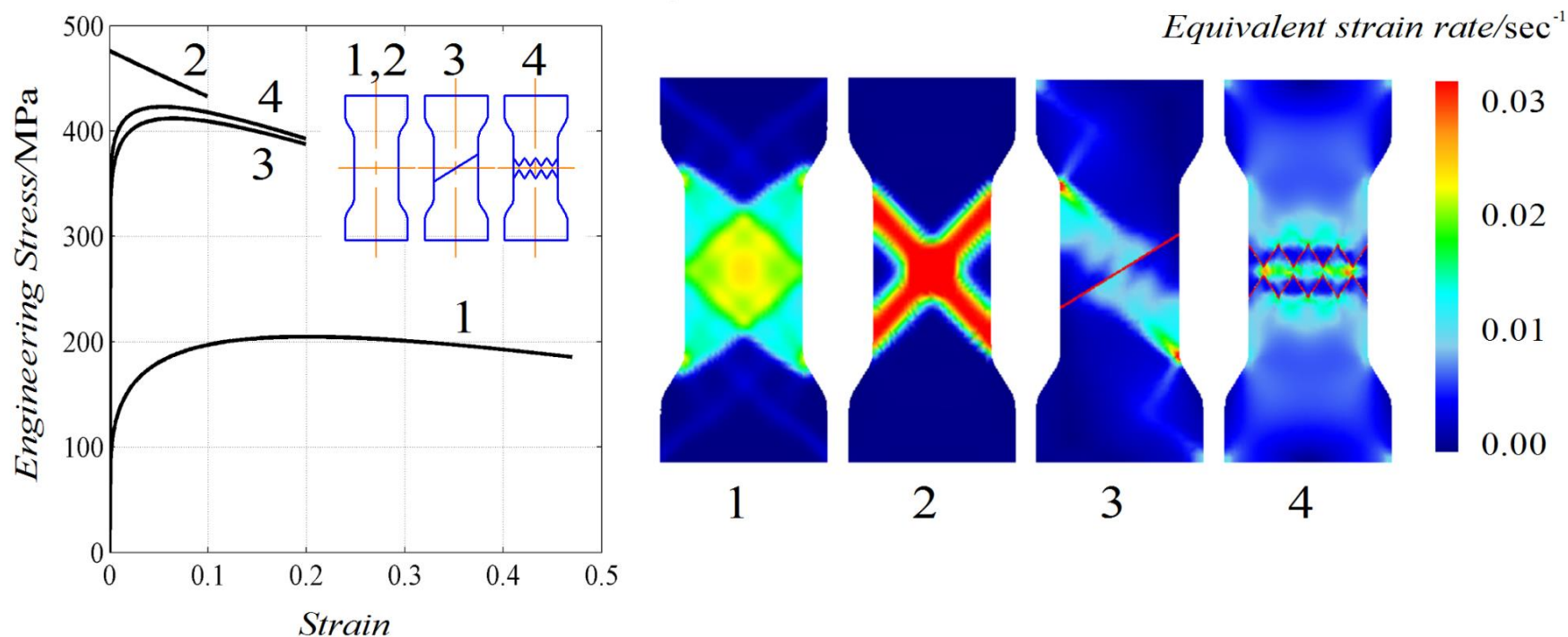
(d)

Материалы с внутренней архитектурой ("architected materials")



- Y.Beygelzimer, R.Kulagin, Y.Estrin. Severe Plastic Deformation as a Way to Produce Architected Materials. In book: Architected Materials in Nature and Engineering, Eds. Y.Estrin, Y.Brechet, J.Dunlop, P.Fratzl. R.Dendievel, Springer, 2018. (In press)
- Y.Beygelzimer, Y.Estrin, R.Kulagin, Synthesis of Hybrid Materials by Severe Plastic Deformation: A New Paradigm of SPD Processing, Adv. Eng. Mater. V17, N12, 2015
- M.I.Latypov, Y.Beygelzimer, et al. Toward architecturing of metal composites by twist extrusion, Mater. Res. Lett., Vol. 3, No. 3, 161–168, 2015

Пример: «Искусственный кристалл» - СМК материал с высокой прочностью и пластичностью



Тонкие слои крупнокристаллического материала контролируют локализацию деформации

- Y.Beygelzimer, Y.Estrin, R.Kulagin, Synthesis of Hybrid Materials by Severe Plastic Deformation: A New Paradigm of SPD Processing, Adv. Eng. Mater. V17, N12, 2015

Детские модели недетских проблем

С 1992 по 2014 год был председателем секции физики Донецкого областного научно-технического отделения Малой академии наук Украины. В течение этого времени школьники под его руководством выполняли исследования различных физико-технических явлений (более 50 работ). Многие из этих исследований были непосредственно связаны с деятельностью ДонФТИ НАН Украины.

Примеры работ:

- *Искусственная турбулентность*

<https://doi.org/10.13140/rq.2.2.17600.23043>

Модель аномально быстрого массопереноса и перемешивания в металлах при простом сдвиге;

- *Следы на мокром песке*

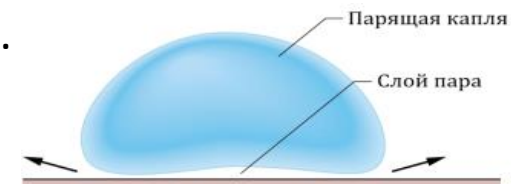
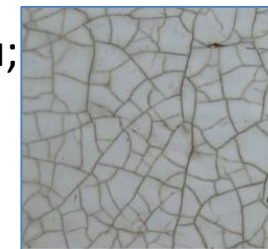
Модель разрыхления металлов при пластической деформации;

- *Сети, сплетенные из трещин*

Модель самоподобной фрагментации металлов при ИПД;

- *Водяные кратеры и*
- *Прыгающая капля*

К исследованию охлаждения полосы при горячей прокатке.



Ученики многократно были победителями и призерами Всеукраинских конкурсов МАН и различных международных конкурсов по физике.



Professor Yakiv Beygelzimer

Scientific nickname - Yan Beygelzimer
(научный псевдоним)

Donetsk Institute for Physics and Engineering
named after O. O. Galkin
The Ukrainian National Academy of Sciences
(UNAS),
pr. Nauku, 46, KYIV, 03028, Ukraine
(evacuated from Donetsk to unoccupied Ukrainian
territory)

Email: yanbeygel@gmail.com

Home page <http://hunch.net/~yan/>

Research Interests

Metal Forming, Severe Plastic Deformation, Ultrafine Grained Materials, Materials Science, Multiscale Modeling

Employment

Principal Research Scientist (2008 - present)

High Pressure Physics and Advanced Technology Department
Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O.Galkin
National Academy of Sciences of Ukraine,
pr. Nauku, 46, KYIV, 03028, Ukraine
(evacuated from Donetsk to the unoccupied Ukrainian territory)

Leading Research Scientist (1996-2008), *Senior Research Scientist* (1984–1996),
Research Scientist (1975–1984).

Tenured Professor (1995 – 2014)

Donetsk National Technical University

Representative Work:

- Proposed a continuum model of grain refinement and damage of polycrystalline materials during severe plastic deformation.
- Proposed and developed a new severe plastic deformation technique known as Twist Extrusion for obtaining bulk ultra-fine grained materials.
- Developed a continuum theory of plastic deformation in structurally-inhomogeneous porous bodies. Based on this theory, proposed a mathematical model of metal forming of porous and powder materials; developed a new model for predicting the ductility of materials under deformation.
- Proposed a computational model of elastically-plastic deformation of micro-inhomogeneous materials (which accounts for rotations of structural elements).

- Introduced new geometrical structures into plasticity theory ("thick yield surface" and a "cloud of internal stress") which effectively describe elastically-plastic deformation of micro-inhomogeneous materials.

Awards and Grants

1. National Award from the Verkhovna Rada of Ukraine (Supreme Council of Ukraine) for contributions in the development of Ukrainian Science, December 2015
2. Invited professor, Laboratory of Excellence Design of Alloy Metals for low-mass Structures (Labex DAMAS), Metz, France, September- December 2017, October 2014-August 2015, October - December 2015
3. Promoting the Global Science and Engineering Professions Concerned with minerals, Metals and materials (TMS), USA, gratitude, 2013
4. Award of the Presidium of National Academy of Sciences of Ukraine – Scientific Prize named after I.M. Frantsevich in recognition of outstanding achievements in the field of material sciences (Highest Scientific Award in Ukraine), 2011
5. Top Cited Author of 2011 year in Material science and Engineering A, Highest Elsevier World Award, 2011
6. Ukraine-Korea joint research grant M386-2011 funded by the State Agency for Science, Innovation and Informatisation of Ukraine, 2010-2012
7. Invited professor, Pohang University of Science and Technology by Prof. H.S.Kim, Pohang, Korea, 2011
8. Diploma of Honorary Title - Honorary Doctor of Donbass State Engineering Academy, 2010
9. Invited Professor at Ecole Polytechnique by Prof. J. Zarka, Paris, France, one month, 2005
10. Invited Professor at the Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences by Prof. Z.Mroz, one month, Poland, Warsaw, 2005
11. CRDF Grant # UKE2-574-DO-04, 2004
12. CRDF Award # TGP-1129, USA, 2003
13. STCU-P18 Grant, USA, 2002
14. AMAS Grant, Poland, 2002
15. CRDF Award # TGP-654, USA, 2002
16. NATO Grant, Ukraine, 2000

Professional Activities

Member of the editorial board

1. International Journal of Material and Mechanical Engineering (IJMME)
2. International Journal of Metallurgical & Materials Engineering
3. High Pressure Physics and Technics (Ukraine)
4. Metal Forming (Ukraine)

Journal Reviews

Materials Science and Engineering: A , Journal of Materials Processing Technology, Journal of Applied Physics, Applied Mathematical Modelling, Materials Science Forum, Intern Journal of Mater Forming, International Journal of Materials

Research, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Journal of Testing and Evaluation

EDUCATIONAL BACKGROUND

Doctor of Technical Sciences, 1994 (Habilitation)
Professor, 2001 (title)

Doctor of Technical Sciences, 1994, Donetsk Institute for Physics and Technology, Ukrainian National Academy of Sciences, Donetsk, Ukraine
Habilitation dissertation title: "Physical models in research and design of hydrostatic treatment processes of materials"

Candidate of Technical Sciences (equivalent of a Ph.D.), 1982, Physics and Technology Institute of Belorussian Academy of Sciences, Minsk, Belarus.
Dissertation title: "Theoretical and experimental research of hydroextrusion processes stability"

M.S. in Physics, 1974, Donetsk State University, Donetsk, Ukraine.

REPRESENTATIVE PUBLICATIONS

Note: Beygelzimer has also been translated as Beygelzimer, Beigelzimer, and Beigel'zimer. The differences partially stem from the fact that USSR passports had a symbol-by-symbol translation of the Russian spelling into French, while Ukrainian passports have a symbol-by-symbol translation of the Ukrainian spelling into English. Also, a number of journal papers were translated by journals themselves, which introduced additional variants.

1. Aleksey Reshetov, Roman Kulagin, Alexander Korshunov and Yan Beygelzimer
The Occurrence of Ideal Plastic State in CP Titanium Processed by Twist Extrusion. *Advanced Engineering Materials*, Version of Record online: 21 DEC 2017 | DOI: 10.1002/adem.201700899
2. Yan Beygelzimer, Roman Kulagin, Yuri Estrin. Severe Plastic Deformation as a Way to Produce Architected Materials. In book: *Architected Materials in Nature and Engineering*, Eds. Y. Estrin, Y. Brechet, J. Dunlop, P. Fratzl. R. Dendievel, Springer, 2018. (in press)
3. Roman Kulagin, Yan Beygelzimer, Yulia Ivanisenko, Andrej Mazilkin, Horst Hahn. Modelling of High Pressure Torsion using FEM. *Procedia Engineering* 207 (2017) 1445–1450
4. R Kulagin , Y Beygelzimer , Y Ivanisenko , A Mazilkin and H Hahn, High Pressure Torsion: from Laminar Flow to Turbulence. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 194 (2017) 012045 doi:10.1088/1757-899X/194/1/012045
5. Yan Beygelzimer, Roman Kulagin, Yuri Estrin, Laszlo S. Toth, Hyoung Seop Kim, Marat I. Latypov "Twist Extrusion as a Potent Tool for Obtaining Advanced Engineering Materials: A Review", *Advanced Engineering Materials*, (2017) Volume 19, Issue 8 <http://dx.doi.org/10.1002/adem.201600873>
6. Beygelzimer, Y., Varyukhin, V., Kulagin, R. and Orlov, D (2017) 'Twist Extrusion' in *Severe Plastic Deformation Technology*, Rosochowski, A. (ed.), pp. 202–234, Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland.

7. Roman Kulagin, Yajun Zhao, Yan Beygelzimer, Laszlo S. Toth, Michail Shtern. Modeling strain and density distributions during high pressure torsion of pre-compacted powder materials. *Materials Research Letters*, 2017 , V.5, N. 3, 179–186
8. O. V. Prokof'eva, Ya. E. Beigel'zimer, R. Yu. Kulagin, Yu. Z. Estrin, and V. N. Varyukhin Manufacture of Submicrocrystalline Composites with a Large Uniform Elongation by Twist Extrusion: Mathematical Simulation. *Russian Metallurgy (Metally)*, Vol. 2017, No. 3, pp. 226–230.
9. Yan Beygelzimer , Roman Kulagin , Laszlo S. Toth and Yulia Ivanisenko. The self-similarity theory of high pressure torsion. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2016, 7, 1267–1277. doi:10.3762/bjnano.7.117
10. Cai Chen, Yan Beygelzimer, Laszlo S. Toth, Yuri Estrin, Roman Kulagin Tensile yield strength of a material pre-processed by simple shear. *J. Eng. Mater. Technol* 138(3), 031010 (May 10, 2016) Paper No: MATS-15-1281; doi: 10.1115/1.4033071
11. Marat I. Latypov, Myoung-Gyu Lee, Yan Beygelzimer, Denis Prilepo, Yuri Gusar, Hyoung Seop Kim, Modeling and Characterization of Texture Evolution in Twist Extrusion, *Metallurgical and Materials Transactions A* March 2016, Volume 47, Issue 3, pp 1248-1260
12. A. V. Kuz'mov, M. B. Shtern, E. G. Kirkova, Ya. E. Beygel'zimer, and D. V. Pavlenko. Analysing the twist extrusion of porous blanks using modified theories of plasticity for porous bodies. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 54, Nos. 11-12, March, 2016 (Russian Original Vol. 54, Nos. 11-12, Nov.-Dec., 2015)
13. D. V. Pavlenko and Ya. E. Beygel'zimer. Vortices in noncompact blanks during twist extrusion, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 54, Nos. 9-10, January, 2016 (Russian Original Vol. 54, Nos. 9-10, Sept.-Oct., 2015)
14. Cai Chen, Yan Beygelzimer, Laszlo S. Toth, Jean-Jacques Fundenberger, Microstructure and strain in protrusions formed during severe plastic deformation of aluminum, *Materials Letters* 159 (2015) 253–256
15. Victor Beloshenko, Yan Beygelzimer, Yuri Voznyak Solid-State Extrusion, *Encyclopedia of Polymer Sciences*, John Wiley & Sons, Published Online: 15 Sep 2015 DOI: 10.1002/0471440264.pst343.pub2
16. Jung Gi Kim, Marat Latypov, Nima Pardis, Yan E. Beygelzimer, Hyoung Seop Kim Finite element analysis of the plastic deformation in tandem process of simple shear extrusion and twist extrusion//*Materials & Design* 83 (2015) 858–865
17. Y. Beygelzimer, Y. Estrin, R. Kulagin, Synthesis of Hybrid Materials by Severe Plastic Deformation: A New Paradigm of SPD Processing, *Adv. Eng. Mater.* Volume 17, Issue 12, pages 1853–1861, December 2015, DOI: 10.1002/adem.201500083
18. Y. Beygelzimer, L. S. Toth, J. J. Jonas, Some Physical Characteristics of Strain Hardening in Severe Plastic Deformation, *Adv. Eng. Mater.* Volume 17, Issue 12, pages 1783–1791, December 2015 DOI: 10.1002/adem.201500097
19. Marat I. Latypov, Yan Beygelzimer, Roman Kulagin, Victor Varyukhin & Hyoung Seop Kim, Toward architecturing of metal composites by twist extrusion, *Mater. Res. Lett.*, Vol. 3, No. 3, 161–168, 2015, <http://dx.doi.org/10.1080/21663831.2015.1034812>
20. Yan Beygelzimer, Roman Kulagin, Marat I. Latypov, Viktor Varyukhin, and Hyoung Seop Kim, Off-Axis Twist Extrusion for Uniform Processing of Round Bars, *Met. Mater. Int.*, Vol. 21, No. 4 (2015), pp. 734~740
21. Marat I. Latypov, Myoung-Gyu Lee, Yan Beygelzimer, Roman Kulagin, and Hyoung Seop Kim, Simple Shear Model of Twist Extrusion and Its Deviations// *Met. Mater. Int.*, Vol. 21, No. 3 (2015), pp. 569-579
22. M. Latypov, E.Y.Yoon, D.J.Lee, R.Kulagin, Y.Beygelzimer, M.S. Salehi, and H.S. Kim Microstructure and Mechanical Properties of Copper Processed by Twist Extrusion with a Reduced Twist-Line Slope // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – V. 45a. – P. 2232-2241 (2014)

23. M.I. Latypov, Y. Beygelzimer and H.S. Kim, Comparative Analysis of Two Twist-Based SPD Processes: Elliptical Cross-Section Spiral Equal-Channel Extrusion vs. Twist Extrusion// *Materials Transactions*, Vol. 54, No. 9 (2013) pp. 1587 to 1591
24. R. Kulagin, M. Latypov, H.S. Kim, V. Varyukhin, and Y. Beygelzimer, Cross Flow During Twist Extrusion: Theory, Experiment, and Application, *Metallurgical and Materials Transactions A*, V. 44a, (2013) 3211-3220
25. Y. Beygelzimer Equivalent Strain in Simple Shear Deformations
arXiv:1301.1281 (January 2013)
26. M.I. Latypov, I.V. Alexandrov, Y.E. Beygelzimer, S. Lee, H.S. Kim. Finite element analysis of plastic deformation in twist extrusion// *Computational Materials Science* 60 (2012) 194–200
27. Y. Beygelzimer, N. Lavrinenko Perfect plasticity of metals under simple shear as the result of percolation transition on grain boundaries arXiv:1206.5055v1 [cond-mat.mtrl-sci] (2012)
28. Dmitry Orlov, Yoshikazu Todaka, Minoru Umemoto, Yan Beygelzimer and Nobuhiro Tsuji Comparative Analysis of Plastic Flow and Grain Refinement in Pure Aluminium Subjected to Simple Shear-Based Severe Plastic Deformation Processing// *Materials Transactions*, Vol. 53, No. 1 (2012) pp. 17 to 25
29. Y. Beygelzimer, Vortices and Mixing in Metals during Severe Plastic Deformation *Materials Science Forum* Vol. 683 (2011) pp 213-224
30. Y. Beygelzimer, Ruslan Z. Valiev, V. Varyukhin Simple Shear: Double-Stage Deformation // *Materials Science Forum* Vols. 667-669 (2011) pp 97-102
31. Y. Beygelzimer, D. Prilepo, R. Kulagin, V. Grishaev, O. Abramova, V. Varyukhin, M. Kulakov. Planar Twist Extrusion versus Twist Extrusion// *Journal of Materials Processing Technology* 211 (2011) 522–529
32. V. Varyukhin, Y. Beygelzimer, R. Kulagin, O. Prokof'eva, A. Reshetov Twist Extrusion: Fundamentals and Applications// *Materials Science Forum* Vols. 667-669 (2011) pp 31-37
33. A. Reshetov, A. Korshunov, A. Smolyakov, Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, I. Kaganova and A. Morozov Distribution of Mechanical Properties by Volume in Titanium Billets Processed by Twist Extrusion// *Materials Science Forum* Vols. 667-669 (2011) pp 851-856
34. Beygelzimer Y., Varyukhin V., Kulagin R., Prokof'eva O. and Reshetov A. Twist extrusion – technique for structure formation. *Proc. 10th Int. Conf. Techn. Plast.* (2011) 244-248
35. Y. Beygelzimer .Simple shear in metals: what is it, really? // *Fiz. Tekh. Vys. Davl.* 20 (4), 40–52 (2010) (in Russian). (<http://www.fti.dn.ua/site/ftvd-journal/journal-content/>)
36. (book) AI Shevelev, YE Beygelzimer, VN Varyukhin, SG Synkov, LA Ryabicheva, AV Reshetov. Metal forming of the recycled aluminum and aluminum- containing alloys, "Noulidzh", Donetsk, (2010) 360 p.
37. V. V. Stolyarov, E. G. Pashinskaya, and Ya. E. Beigel'zimer. Effect of Combined Deformation on the Structure and Properties of Copper and Titanium Alloys// *Russian Metallurgy (Metally)*, No. 10, pp. 904–909 (2010).
38. Y. Beygelzimer, O. Prokof'eva, R. Kulagin, V. Varyukhin, S. Synkov. Measures of Ductility for UFG Materials Obtained by SPD // *Materials Science Forum.* - V. 633-634. – P. 223-230 (2010)
39. Beygelzimer, Y., Simple shear and turbulence in the metals. *Fiz. Tekh. Vys. Davl.* 20 (1), 26–32 (2010) (in Russian) (<http://www.fti.dn.ua/site/ftvd-journal/journal-content/>)
40. Y. Beygelzimer, A. Reshetov, S. Synkov, O. Prokof'eva, R. Kulagin Kinematics of metal flow during twist extrusion investigated with a new experimental method// *Journal of Materials Processing Technology* 209 (2009) 3650–3656
41. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov, D. Orlov Useful properties of twist extrusion// *Materials Science and Engineering A* 503 (2009) 14–17

42. D. Orlov, Y. Beygelzimer, S. Synkov, V. Varyukhin, N. Tsuji, Z. Horita Plastic flow, structure and mechanical properties in pure Al deformed by twist extrusion//Materials Science and Engineering A 519 (2009) 105-111
43. D. Orlov, Y. Todaka, M. Umemoto, Y. Beygelzimer, Z. Horita and N. Tsuji Plastic Flow and Grain Refinement Under Simple Shear-Based Severe Plastic Deformation Processing Materials Science Forum Vols. 604-605 (2009) pp 171-178
44. V Varyukhin, Y Beygelzimer, B Efros Nanostructured Materials by Twist Extrusion and High Pressure Torsion, Materials Science Forum, 584/586, Part 1 (2008): 102-107
45. D. Orlov, Y. Beygelzimer, S. Synkov, V. Varyukhin and Z. Horita. Evolution of Microstructure and Hardness in Pure Al by Twist Extrusion, Materials Transactions, Vol. 49, No. 1 (2008) pp. 2–6
46. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov Shear, Vortices, and Mixing During Twist Extrusion International Journal of Materials Forming, 1(1), (2008) pp.443-446
47. V. Solod, R. Kulagin, Y. Beygelzimer. A local approach to simulating bar forming in pass rolling, Journal of Materials Processing Technology 190, 23-25, 2007.
48. V. Varukhin, Y. Beygelzimer, S. Synkov, D. Orlov. Applications of Twist Extrusion, Materials Science Forum, Vol. 503-504, pp. 335--340 (2006).
49. Yan Beygelzimer, Dmitry Orlov, Alexander Korshunov, Sergey Synkov, Victor Varyukhin, Irina Vedernikova, Alexey Reshetov, Alexandr Synkov, Lev Polyakov, and Irina Korotchenkova. Properties of Twist Extrusion: Methods and Structures. Solid State Phenomena Vol. 114, pp. 69--78 (2006).
50. A. P. Shpak, V. N. Varyukhin, V. I. Tkatch, V. V. Maslov, Y. Y. Beygelzimer, S. G. Synkov, V. K. Nosenko, S. G. Rassolov. Nanostructured Al86 Gd6 Ni6 Co2 bulk alloy produced by twist extrusion of amorphous melt-spun ribbons, Materials Science and Engineering A 425, pp. 172--177 (2006).
51. V. Varyukhin, V. Tkatch, V. Maslov, Y. Beygelzimer, S. Synkov, V. Nosenko, S. Rassolov, A. Synkov, V. Krysov, V. Mashira. Consolidation of amorphous Al86Ni6Co2Gd6 melt-spun ribbons by twist extrusion, Materials Science Forum, Vol. 503--504, 699--704 (2006).
52. Ya. E. Beygelzimer, O. V. Prokof'eva, and V. N. Varyukhin. Structural Changes in Metals Subjected to Direct or Twist Extrusion: Mathematical Simulation , Russian Metallurgy, Vol. 2006, No. 1, 25--32, 2006.
53. Y Y Beygelzimer; O Prokofeva; B Efros; V N Varyukhin Hardening Viscous Failure and Strain Localization during Severe Plastic Deformation MATERIALS SCIENCE FORUM, 503/504, (2006): 551-556
54. Y. Beygelzimer. Grain Refinement and Viscous Fracture of Metals during Severe Plastic Deformation: Mathematical Simulation. Book, NATO Science Series, Volume 212 (2006) Nanostructured Materials by High-Pressure Severe Plastic Deformation Editors: Yuntian T. Zhu, Viktor Varyukhin, pp. 181-185
55. Y. Beygelzimer. Grain refinement versus voids accumulation during severe plastic deformations of polycrystals: A mathematical simulation, Mechanics of Materials, Vol. 37, No. 7, pp. 753--767 (2005).
56. V. Stolyarov, Y. Beygelzimer (written as Beigel'zimer), D. Orlov, and R. Valiev. Refinement of Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Processed by Twist Extrusion and Subsequent Rolling, The Physics of Metals and Metallography, Vol. 99, No. 2, pp. 204--211 (2005).
57. Y. Beygelzimer, V. Beloshenko. Solid state extrusion. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, John Wiley and Sons, Inc. (2004).
58. (book) Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, D. Orlov, S. Sinkov. Twist Extrusion: Accumulating Deformations (in Russian), 2003.
59. Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, D. Orlov, S. Sinkov. Twist Extrusion---a Process for Accumulating Deformations. Donetsk: TEAN, 84 pages, 2003 (in Russian).

60. Ya. Beygelzimer and A. I. Shevelev. On the Development of Fracture Models for Metal Forming, *Russian Metallurgy (Metally)*, Vol. 2003, No. 5, pp. 452--456. Translated from *Metally*, No. 5, pp. 81--86 (2003).
61. Y. Beygelzimer, D. Orlov, V. Varyukhin. A new severe plastic deformation method: Twist Extrusion/Ultrafine Grained Materials II. Proceedings of a Symposium held during the 2002 TMS Annual Meeting I, Seattle, Washington, February 17--21, 2002 / edited by Y. Zhu, T. Langdon, R. Mishra, S. Semiatin, M. Saran, T. Lowe, pp. 297--304 (2002).
62. V. A. Beloshenko, Ya. E. Beygelzimer, A. P. Borzenko, V. N. Varyukhin. Shape memory effect in the epoxy polymer-thermoexpanded graphite system, *Composites: Part A* 33 (2002) 1001--1006.
63. A Spuskanyuk; Y Y Beygelzimer; V N Varyukhin Computer Study of the Severe Shear Deformations of Solids under High Pressure. Diffusion and defect data part a defect and diffusion forum, no. 208/209, (2002): 213-216
64. Y Y Beygelzimer; D V Orlov Metal Plasticity during the Twist Extrusion. Diffusion and defect data part a defect and diffusion forum, no. 208/209, (2002): 311-314
65. Y. Beygelzimer, A. Spuskanyuk, V. Varyukhin. On The Loading Surface of Microinhomogeneous Materials, *Recent Development in Computer Modeling of Powder Metallurgy Processes*, IOS Press, pp. 17--28, 2001.
66. (book) Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, B. Efros. Physical mechanics of hydrostatic treatment of materials, Donetsk: DonFTI NANU, 192 pages, 2000 (in Russian).
67. V. Beloshenko, Y. Beygelzimer, V. Varyukhin. Thermal shrinkage of polymer mixtures obtained by solid-state extrusion, *Polymer*, Vol. 41, pp. 3837--3840 (2000).
68. Y. Beygelzimer, V. Varukhin, S. Synkov, A. Sapronov, V. Synkov. New techniques for accumulating large plastic deformations using hydroextrusion, *Fizika i Tekhnika Vusokih Davlenii (High Pressure Physics and Technology, in Russian)*, Vol. 9, No. 3 (1999).
69. V. Beloshenko, Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, V. Grinev. Solid-state extrusion of polymerization-filled polymer compositions. *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 35, No. 1, pp. 71--76 (1999).
70. Y. Beygelzimer, A. Spuskanyuk. The thick yield surface: An idea and approach for investigating its structure. *Philosophical Magazine A*, Vol. 79, No. 10, pp. 2437--2459 (1999).
71. Y. Beygelzimer, A. Spuskanyuk, V. Varyukhin, B. Efros. Computer simulation of plastic deformation in Polycrystalline Materials. *The Physics of Metals and Metallurgy*, Vol. 87, No. 6, pp. 499--508 (1999).
72. Y. Beygelzimer. Constitutive Equations of a Porous Body with a Structurally-Inhomogeneous Matrix, *Proceedings of International Workshop on Modelling of Metal Powder Forming Processes*, Grenoble, France, July 21--23, 1997, pp. 57--67.
73. Y E Beigel'zimer; V G Synkov; L D Trankovskaya; D V Trankovskii Computer Modeling of the Conductance of Woven Materials Containing Metallic Fibers. I Generalization of the Node Problem of Percolation Theory to the Long-Range Case *Powder metallurgy and metal ceramics c/c of Poroshkovaia metallurgii*, 36, no. 3/4, (1997): 176-179
74. Y E Beigel'zimer; V G Synkov; L D Trankovskaya; D V Trankovskii; E M Dashevskii Model of Electrical Conductivity for Woven Materials Containing Metal Fibers. II. Evaluation of the Probability of Electrical Contact for Crossing Threads. *Powder metallurgy and metal ceramics c/c of Poroshkovaia metallurgii*, 36, no. 7/8, (1997): 376-380
75. Ja.E. Beigelzimer, B. Efros, V. Varyukhin, A. Khokhlov. A continuum model of a structurally-inhomogeneous porous body and its application for the study of stability and viscous fracture of materials deformed under pressure. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 48, No. 5, pp. 629--640 (1994).

76. Ya. E. Beigel'zimer, A. P. Getmanskii, L. I. Alistratov. Plasticity condition for hard-metal mixture powders. Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics December 1986, Volume 25, Issue 12, pp 952–956

PATENTS

- Patent no. FR1557031 «Ultrafine metallic plate from bulk» France, 24 July, 2015.
- US Patent 20080145691 A1 Articles having a continuous grain size radial gradient and methods for making the same.
- 2 two international patents of Ukraine.
- 32 patents of Ukraine.

MONOGRAPHS

1. Влияние высоких давлений на вещество. Т.2. Физика и техника деформирования при высоких давлениях, Под ред. Б.И.Береснева, Киев: Изд. Наукова думка, 1987.- 271 с.
2. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Эфрос Б.М. Физическая механика гидростатической обработки материалов. -Донецк: ДонФТИ НАНУ, 2000.-192 с
3. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов. Д.В., Сынков С.Г Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций.. Донецк: ТЕАН, 2003 г. – 85 с.
4. Белошенко В.А., Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н. Твердофазная экструзия полимеров. Киев: Наукова думка, 2008.-325 с.
5. Шевелев А.И., Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Сынков С.Г., Рябичева Л.А., Решетов А.В. Деформационная обработка вторичного алюминия и алюминий содержащих отходов. "Ноулидж", Донецк, 2010.- 360 с.
6. «Теорія та практика обробки матеріалів тиском», под ред. В.А.Титова.-Киев: Издательство КПИ, 2016.-375 с.
7. Severe Plastic Deformation Technology. Ed. by A.Rosochowski, Whittles Publishing, Strathclyde, UK 2017.- 256 p.