

УДК 539.89: 621.7.043: 621.77: 621.777.01

А. В. ПЕРИГ, канд. техн. наук, ст. преподаватель, ДГМА, Краматорск
А. Ф. ТАРАСОВ, докт. техн. наук, проф., ДГМА, Краматорск
А. В. АЛТУХОВ, ст. преподаватель, ДГМА, Краматорск

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ (ИПД) ОБЪЕМНЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Выполнена систематизация процессов интенсивного пластического деформирования (ИПД) и штамповой оснастки на основе онтологического подхода. Установлено, что перспективны направления совершенствования схем ИПД являются: повышение выхода годного, снижение неравномерности распределения деформаций по объему заготовки, выбор схем процессов ИПД с учетом технологической пластичности материала.

Ключевые слова: ИПД, объемные ультрамелкозернистые, наноструктурные материалы, систематизация, онтологический подход

Вступление. Методы ИПД активно развиваются в связи с высокой эффективностью способов получения наноструктурных материалов путем измельчения их структуры и придания им физико-механических свойств, близких к наноматериалам. Однако реализация методов ИПД связана с рядом технологических трудностей, которые сдерживают их внедрение в промышленное производство [1-6, 9]. Накоплено большое количество технологических решений и экспериментальных данных в области ИПД, которые требуют обобщения на основе методов инженерии знаний [7-11].

Анализ последних исследований и литературы. Развитие наноструктурного материаловедения непрерывно требует новых конструктивных и технологических междисциплинарных решений, создание которых является инновационным творческим процессом [1-6]. В то же время творчество специалистов в области ОМД и материаловедения – это также динамический процесс, который развивается и исследуется с различных точек зрения. Эффективность новых технических решений в сфере ИПД обуславливает интерес к методикам и алгоритмам решения творческих задач, а также к современным системным методам инженерии знаний для анализа накопленных экспериментально-технологических данных.

Актуальной задачей является и разработка систем поддержки принятия технологических решений, основанная на формализации знаний, в том числе и в области ИПД. Для этого могут быть использованы различные методы обработки информации, такие как морфологический анализ, экспертные системы, основанные на правилах, деревья решений и др. [7, 8]. Одним из возможных вариантов решения проблемы создания баз знаний по нанотехнологиям является использование онтологического подхода. С помощью онтологий можно накапливать и структурировать экспериментально-технологическую информацию, создавая основу для формализации и автоматизированной обработки этих знаний [10, 11].

В работах [9-11] показана эффективность применения современных методов обработки и поиска информации в различных областях машиностроения в частности, в обработке металлов давлением. Повышение интеллектуальности различных систем проектирования позволяет решить проблемы, связанные с быстрым поиском и сопоставлением информации.

Постановка проблемы. Значительный объем и высокая интенсивность накопления экспериментально-технологических знаний в области ИПД обуславливает принципиальную необходимость обобщения и формализации накапливаемой информации с ис-

© А. В.Периг, А. Ф. Тарасов, А. В. Алтухов, 2012

пользованием технологий инженерии знаний. Применение методов инженерии знаний обеспечит эффективное дальнейшее совершенствование существующих и разработку новых схем ИПД с улучшенными конструктивно-технологическими показателями.

Цель исследования. Целью работы является разработка основанной на онтологическом подходе систематизации процессов ИПД и соответствующей штамповой оснастки, для выявления перспективных направлений совершенствования схем ИПД и обеспечения возможности применения методов инженерии знаний к анализу накапливаемых экспериментально-технологических данных при реализации процессов ИПД.

Материалы исследований. I. Онтологии.

В качестве метода систематизации принят онтологический подход для представления ключевых конструктивно-технологических параметров процесса деформирования и штамповой оснастки, который дает возможность рационального выбора или создания новых схем ИПД, определяет пути управления основными параметрами качества получаемых изделий. Онтология представляется как множество [7, 8, 10, 11]

$$O = \{C, R, F\}, \quad (1)$$

где C – конечное множество понятий предметной области (концептов); R – конечное множество отношений между понятиями (в данном случае рассматривается иерархия типа «вид/подвид»); F – конечное множество функций интерпретации (определяются как правила выбора значений признаков классификации в форме «если – то», в зависимости от технологической задачи).

II. Технологические особенности базовых процессов ИПД.

Чтобы обеспечить возможность описания основных особенностей базовых процессов ИПД в виде соотношения (1), охарактеризуем каждый из рассматриваемых процессов.

Основные виды процессов ИПД: кручение под высоким давлением, РКУП, всесторонняя изотермическая ковка, винтовая экструзия и др. [1-6, 9]. Приведенные методы ИПД находят применение в области машиностроения, но они имеют технологические недостатки и ограничения, а в ряде случаев их применение невозможно по различным причинам. Кручение под высоким давлением позволяет получать только детали небольших размеров круглой формы (типа дисков) из многих материалов, при этом исследователи выделяют низкую стойкость инструмента вследствие чрезвычайно высоких нагрузок [1, 6, 9]. Использование равноканального углового прессования (РКУП) обеспечивает возможность получать детали из различных материалов вытянутой формы с прямоугольным или квадратным сечением при использовании относительно простой конструкции штамповой оснастки, однако возникают сложности с установкой и извлечением заготовки. Кроме этого происходит изменение формы торцевой зоны заготовки, обусловленное особенностью деформационного процесса, что затрудняет повторное деформирование для накопления необходимой степени деформации без промежуточной механической обработки [2, 3, 5, 6, 9]. Всесторонняя изотермическая ковка применяется для получения большой степени деформации в заготовках цилиндрической или прямоугольной формы из различных материалов в условиях деформирования нагретой заготовки в замкнутом пространстве штампа со сменой оси нагружения на каждом переходе. Одновременно производится поэтапное снижение температуры, что обеспечивает накопление деформации и измельчение размера зерна, однако при этом возникают зональные неоднородности структуры заготовки, а также требуется многократная обработка [1, 4, 6, 9]. Винтовая экструзия выполняется в каналах прямоугольной формы, при этом средняя часть сечения канала образована вращением поперечного сечения канала относительно его продольной оси, обеспечивая поворот каждого сечения заготовки при последовательном прохождении через канал, что схоже с кручением под большим давлением, но дает возможность обрабатывать заготовки больших размеров. Ограничением в данном случае является длина обрабатываемой заготовки [4, 6, 9].

Существующие недостатки базовых технологических процессов ИПД обуславливают необходимость дальнейшего комплексного анализа и систематизации схем ИПД.

III. Классификация схем процессов ИПД по назначению, кинематическим и энергосиловым параметрам деформирования.

Для поиска новых технологических схем необходим анализ особенностей существующих методов, выявление наиболее важных технологических факторов и степени их влияния на процессы ИПД.

Отметим, что развитие методов ИПД идет в следующих направлениях: получение равномерной структуры и уменьшение размера зерна; повышение коэффициента выхода годного за счет равномерной обработки объема заготовки; упрощение технологических процессов и оборудования; расширение спектра используемых материалов.

Результаты анализа существующих схем процессов ИПД позволили выделить факторы, определяющие их технологические возможности и разделение на группы, объединенные общим назначением процессов, кинематическими и другими особенностями. Принцип систематизации – выделение факторов (признаков разделения на группы, аспектов рассмотрения) и перечисление их значений (концептов C_i) при реализации процессов ИПД, которые образуют иерархию (таксономию) со связями R_j . Полное множество вариантов значений факторов определяет поисковое поле для выбора методов решения технологических задач ИПД. Конкретные наборы факторов (неполные подмножества) и их значений (одно значение из множества вариантов для каждого фактора) в совокупности определяют техническое решение, обеспечивающее реализацию процесса ИПД. Таким наборам характеристик технологического процесса можно поставить в соответствие последовательность операций и схемы штамповой оснастки.

Рассмотрим вопросы определения рациональных схем процессов ИПД исходя из технологической задачи и накопленного в этой области опыта (как основы для определения функций интерпретации F_k). Существующие схемы процессов ИПД разделены на следующие группы (рис.):

1. Вид и исходное состояние деформируемого материала. Большинство исследователей [1-4, 6] для экспериментов используют заготовки из стали и цветных металлов в виде слитков или проката. Развиваются и методы деформации дискретных материалов. По изменению формы от исходной заготовки до конечной детали можно выделить процессы, в которых они совпадают или отличаются. Вид материала и заготовки выступает как ограничение при выборе схемы деформирования.

2. Технологическое назначение процессов ИПД, которые направлены: на фрагментацию структуры материала (повышение пластичности), упрочнение (с сохранением пластичности). Данный признак является практически целью применения процесса ИПД.

3. Прерывность процесса деформирования, которая определяется характером движения инструмента. Развиваются и комбинированные процессы ИПД (например, одновременно вращательное и возвратно-поступательное).

4. Характер нагружения. Рассмотрев характеристики нагружения в процессах ИПД можно выделить схемы с различной скоростью деформирования: от квазистатического до деформирования ударными нагрузками и взрывом [1-6, 9].

5. Направление течения металла при деформировании. В процессах ИПД наблюдается большое многообразие схем с различным направлением течения металла при деформировании, что влияет на равномерность структуры. Например, применяют схемы, в которых угол 2θ пересечения каналов штампа составляет 90° , а также больше либо меньше 90° , течение в две стороны (Т-экструзия), обратное. В нескольких схемах РКУП применяется многоугловое течение на плоскости [6] и в пространстве, чтобы обеспечить более равномерное распределение деформации по объему заготовки [9].

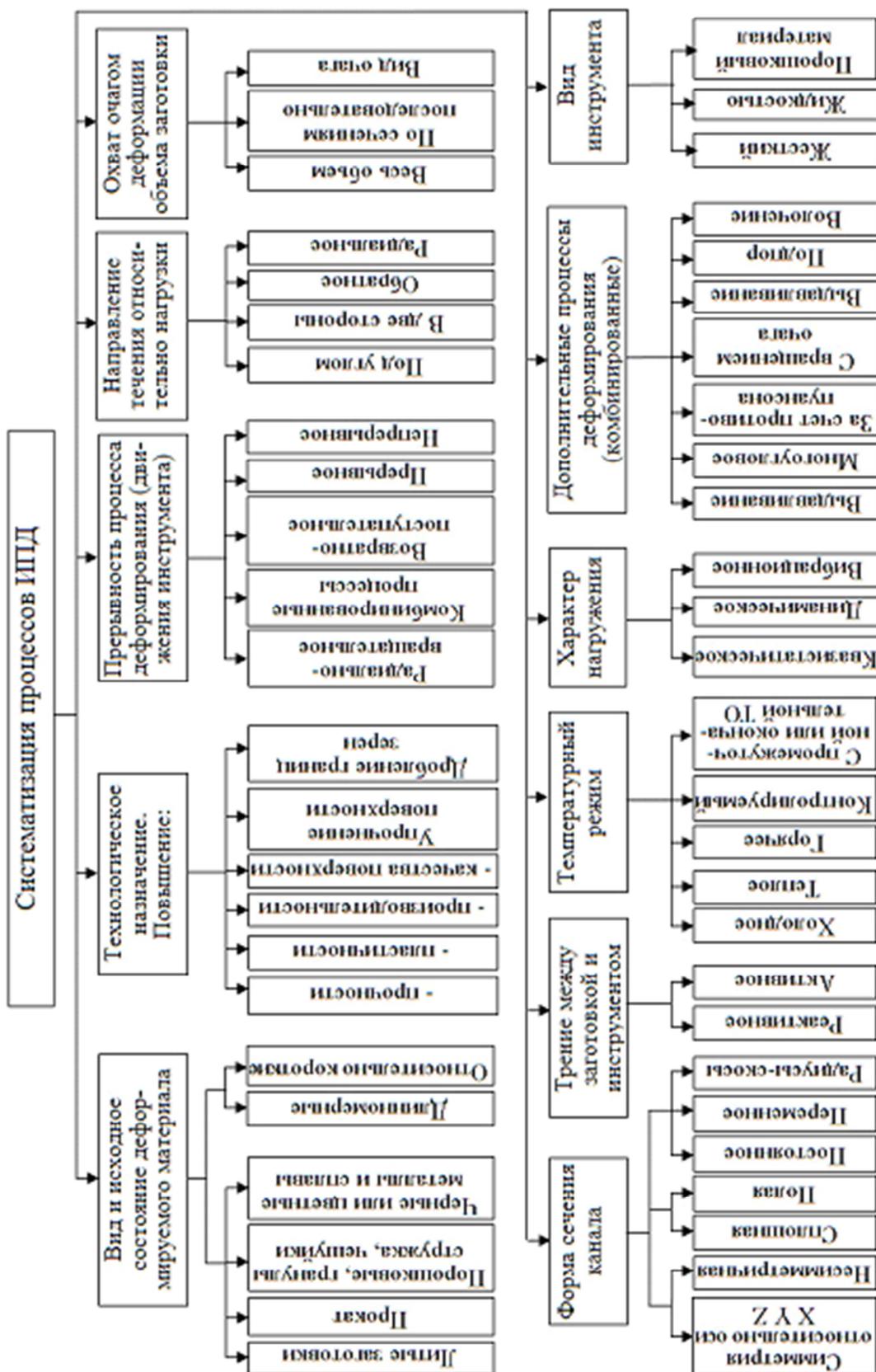


Рис. – Классификация процессов ИПД по назначению, кинематическим и энергосиловым параметрам деформирования

6. Форма сечения канала: может быть постоянной и переменной по длине канала (сужение или расширение канала) и в поперечном сечении, например, переход от квадратного к круглому сечению или наоборот. В процессах ИПД используют изменение формы и площади сечения для интенсификации сдвиговых деформаций в сечении заготовки. Форма сечения канала может быть и неизменной, но поворачиваться вдоль оси штампа [4, 9].

7. Трение, которое возникает между заготовкой и инструментом может быть разделено на реактивное (деформирование с неподвижной матрицей) и активное, которое включает множество различных схем с подвижными частями инструмента.

8. Температурный режим: предусматривает холодное и горячее деформирование и их варианты, например контролируемое снижение температуры в процессе последовательных этапов формоизменения или деформирование в изотермических условиях. В некоторых схемах используют промежуточную термическую обработку в зависимости от пластичности деформируемого материала.

9. Наличие дополнительных процессов деформирования, которые обеспечивают совмещение основного процесса ИПД с другими операциями формоизменения заготовки, например РКУП с выдавливанием (симметричное и асимметричное), выдавливание с кручением и подпором, деформирование с вращением очага деформации и различные схемы подпора заготовки, выдавливание через сужающийся канал с нанесением на его поверхность винтовой линии, двухугловое выдавливание с промежуточным кручением и др.

10. Охват очагом деформации объема заготовки. Все процессы деформирования при ИПД можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы, в которых заготовка по всей длине и объему одновременно подвержена деформированию, в эту группу входят – всесторонняя изотермическаяковка и кручение под давлением. Ко второй группе относятся схемы, где очаг деформирования последовательно проходит вдоль одной из осей заготовки, к этой группе относятся – РКУП и винтовая экструзия. Выбор схемы влияет на равномерность напряженного состояния по объему и служит основой для получения заготовок с одинаковыми механическими свойствами в разных сечениях и повышения коэффициента использования металла. Следует отметить, что созданию равномерного по объему напряженно-деформированного состояния при реализации этих процессов мешает трение.

IV. Особенности количественного описания.

Учитывая сложность реализации рассмотренных схем деформирования, следует отметить значительные расчетные проблемы и принципиальную некорректность описания динамики пластического течения основных конструкционных материалов в процессах ИПД с использованием классических методов инженерной теории пластичности, таких как методы верхней оценки и полей линий скольжения. Дополнительные расчетные сложности при использовании классических методов инженерной теории пластичности к анализу течения материалов при ИПД обусловлены геометрической сложностью промышленных штампов. Так, в работе [3] используется метод линий скольжения, причем анализируется течение материала через штамп с внешним закруглением, что вызывает ряд расчетных сложностей, вызванных нарушением условия линейности задачи, на котором основаны существующие способы построения линий скольжения. Как результат, в работе [3] для закругленного штампа строится кинематически допустимое поле линий скольжения, которое оказывается статически недопустимым из-за нарушения граничного условия по трению в верхней точке симметричного вееера. Кроме того, современные гипотезы о существовании аналогии между пластическим течением поликристаллов при ИПД и турбулентным течением жидкостей [4] не в полной мере согласуются с классической теорией пластичности.

Основные геометрические особенности пластического течения деформируемых материалов в процессах ИПД можно проанализировать с использованием таких геометрических методов, как метод маркеров либо метод исходных кольцевых сеток [5], причём для возможного описания течения деформируемых материалов с эффектами вязкости в первом приближении представляется перспективным развитие математических подходов, связанных с решением краевых задач для уравнений Навье-Стокса [5]. При этом, применение уравнений Навье-Стокса в формах уравнений переноса импульса и переноса вихря [5] не учитывает переменной вязкости в каждой точке материала заготовок при расчетах вязких, вязко-пластических, вязко-упругих и упруго-вязко-пластических течений деформируемых сред со сложной реологией, а также кинетики деформирования и особенностей структурообразования металлов и сплавов в процессах ИПД в рамках классических методов феноменологической механики сплошных сред и математического анализа непрерывных процессов [5]. Целесообразность применения методов современной дискретной математики и нейросетевых технологий [7, 8] к моделированию процессов ИПД также обусловлена сложностью структурообразования реальных материалов, поскольку при их деформировании имеет место непрерывное динамическое перераспределение процентного соотношения между фазами обрабатываемого материала [9].

Отмеченные факты указывают на необходимость дальнейшего развития математических подходов, обеспечивающих корректное феноменологическое и мезомеханическое описание течения основных конструкционных материалов в технологических процессах ИПД.

Результаты исследования.

Анализ тенденций развития методов ИПД позволяет разработать ряд правил их выбора в зависимости от задач обработки и ограничений. Например, если деформируется малопластичный материал, то применяются схемы с нагревом, подпором; если заготовка большая, то необходим нагрев и всесторонняя ковка (схема ABC); если наблюдается существенная неравномерность свойств по объему, то необходимо менять последовательность или вид переходов, использовать активное трение и т.д.

В результате выполненной работы предложены новые технические решения [12, 13], которые устраняют недостатки существующих схем, что подтверждает эффективность применения системных методов анализа [9-11].

Заключение по работе и выводы.

1. На основе анализа существующих методов ИПД выделены факторы и выполнена систематизация процессов и конструктивных решений, определяющих технологические возможности различных схем деформирования объемных заготовок, что необходимо при выборе наиболее эффективных схем процессов ИПД с учетом задач обработки и особенностей материала заготовок.

2. Перспективными направлениями для дальнейшего совершенствования процессов ИПД являются: конструктивное упрощение технологических схем и оснастки с одновременным управлением трением при сохранении показателей качества деформируемых заготовок, а также реализация контроля механических свойств по объему заготовок и повышение выхода годного обрабатываемого материала.

3. Применение онтологического подхода для систематизации и структурированного представления ключевых конструктивно-технологических параметров процесса ИПД создает основу для разработки базы знаний и возможность рационального выбора или создания новых схем ИПД, определяет пути управления основными параметрами качества получаемых изделий.

Список литературы: 1. Valiev R. Z. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation / R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, I. V. Alexandrov // Progress in Materials Science. – 2000. – Vol. 45. – pp. 103-189. 2. Valiev R. Z. Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement / R. Z. Valiev, T. G. Langdon // Progress in materials science. – 2006. – Vol. 51, No7. – pp. 881-981. 3. Ferrasse S. Scale up and application of equal-channel angular extrusion for the electronics and aerospace industries / S. Ferrasse, V. M. Segal, F. Alford et al. // Materials Science and Engineering: A. – 2008. – Vol. 493. – N. 1-2. – pp. 130-140. 4. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. – Донецк: ТЕАН, 2003. – 87 с. 5. Perig A. V. Equal Channel Angular Extrusion of Soft Solids / A. V. Perig, A. M. Laptev, N. N. Golodenko, Yu. A. Erfort, E. A. Bondarenko // Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Vol. 527. – N 16-17, 25 June 2010. – P. 3769-3776. – ISSN 0921-5093. 6. Белошенко В. А. Теория и практика гидроэкструзии / В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин, В. З. Спусканюк; НАН Украины, ДонФТИ им. А. А. Галкина. – К: Наукова думка, 2007. – 246 с. – Библиогр.: с. 226-244. 7. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с. 8. Зильбербург Л.И. Информационные технологии в проектировании и производстве / Л.И. Зильбербург, В.И. Молочник, Е.И. Яблочников – СПб: Политехника, 2008. – 304 с. 9. Алтухов А. В. Систематизация процессов интенсивного пластического деформирования для формирования ультрамелкозернистых и нанокристаллических структур в объемных заготовках / А. В. Алтухов, А. Ф. Тарасов, А. В. Периг // Письма о материалах. – 2012. – т.2. – № 1. – С. 54-59. – ISSN 2218-5046. 10. Тарасов А.Ф. Информационная технология поиска аналогов изделий в хранилищах метаданных о САД-проектах / А.Ф. Тарасов, М.А. Винников, С.А. Тарасов, О.А. Лябик // Наукові праці ДонНТУ, серія «Обчислювальна техніка та автоматизація», Донецьк. Вип. 171. – 2010. – С. 118-127. 11. Разработка ИСАПР с применением методов инженерии знаний. Решение практических задач: монография / А. Ф. Тарасов, М.А. Винников, С.А. Короткий, О.А. Лябик, С.В. Таран, С.А. Тарасов – Краматорск: ДГМА, 2012. – 216 с. – ISBN 978-966-379-595-9. 12. Патент 69006 України В22F 3/03 МПК / Пристрій для отримання заготовок із металевого порошку з керованою щільністю / О.Ф. Тарасов, О.В. Алтухов. – № u201108267, Заявл. 01.07.2011; Опубл. 25.04.2012. Бюл. № 8. 13. Рішення про видачу патенту на корисну модель від 5 березня 2012 року за заявкою № u 2012 04007 від 2.04.2012 МПК МПК6В21К21/00, В21 J 5/00 / Спосіб одержання ультрадрібнозернистих заготовок із металів та сплавів / Тарасов О.Ф., Периг О. В., Алтухов О. В.

Надійшла до редколегії 25.10.12

УДК 539.89: 621.7.043: 621.77: 621.777.01

Систематизация процессов интенсивного пластического деформирования (ипд) объемных заготовок на основе онтологического подхода / Периг А. В., Тарасов А. Ф., Алтухов А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С. 83-89. – Библиогр.: 13.

Виконано систематизацію процесів інтенсивного пластичного деформування (ІПД) і штампового оснащення на основі онтологічного підходу. Встановлено, що перспективними напрямками удосконалення схем ІПД є: підвищення коефіцієнта використання матеріалу, зниження нерівномірності розподілу деформацій за об'ємом заготовки, вибір схем процесів ІПД із урахуванням технологічної пластичності матеріалу.

Ключові слова: ІПД, об'ємні ультрадрібнозернисті, наноструктурні матеріали, систематизація, онтологічний підхід.

The systematization of severe plastic deformation (SPD) techniques and die tooling has been carried out with an introduction of an ontological approach. It has been found that a high potential exists for improvements for SPD processes in material utilization ratio, decreases in strain nonuniformity within the workpiece volume, and the development of choice techniques based on plasticity of materials.

Keywords: SPD, bulk ultrafine-grained, nanocrystalline materials, systematization, ontological approach.