

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.7.01

Бейгельзимер Я. Е.
Тарасов А. Ф.
Роганов Л. Л.
Кулагин Р. Ю.
Алтухов А. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ, СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ

В автомобиле- и авиастроении, энергетике, при производстве изделий для медицины, электроники и т. д. часто возникает потребность в материалах с уникальными свойствами. Удовлетворить ее можно двумя путями: (1) созданием новых сплавов и композитов; (2) выявлением новых возможностей известных материалов путем специальной их обработки. Первый путь связан с варьированием химического состава материалов, второй – с изменением их структур, текстур и фаз.

В последние 20 лет многие лаборатории мира идут по второму пути, используя при этом методы воздействия на материалы, объединенные общим названием – интенсивная пластическая деформация (ИПД) [1]. Пока еще нет общепринятого определения ИПД, но уже можно отметить ее общие черты. Прежде всего, в результате ИПД в металлах и сплавах формируется сильно разориентированная, фрагментированная, субмикроструктурная структура деформационного происхождения. Как правило, это происходит при низких гомологических температурах, деформации Мизеса не менее 3-5 и уровне гидростатического давления не менее предела текучести деформируемого материала. Наиболее эффективные процессы ИПД основаны на схеме простого сдвига. В настоящее время ведутся активные исследования различных схем и условий деформирования для поиска эффективных технологических процессов получения объемных заготовок с равномерным распределением механических характеристик по всему объему.

Для реализации процессов ИПД необходимо специализированное оборудование, которое реализует ряд требований технологического процесса по созданию заданной схемы напряженно-деформированного состояния материала в процессе обработки, а также требуемую кинематику перемещения частей штамповой оснастки при деформировании и выпрессовке изделия.

Создание специализированных установок требует значительных капитальных затрат, которые возможны на этапе широкого промышленного внедрения процесса. В условиях опытной и отытно-промышленной эксплуатации более эффективно применение модернизации универсального оборудования, в качестве которого чаще всего применяют гидравлические прессы. В этом случае, за счет изменения схемы гидропривода, разработки средств автоматизации и специальной штамповой оснастки можно реализовать и исследовать различные схемы ИПД, конструкции деформирующего инструмента, силовой и температурно-скоростной режим нагружения заготовок для обеспечения требуемого качества изделий.

В настоящее время известен целый ряд методов ИПД, среди которых наибольшее распространение получили: кручение под высоким давлением [1, 2], равноканальное угловое прессование [1–3], 3D-ковка [4], аккумулярующая прокатка [5], винтовая экструзия (ВЭ) [6, 7]. Подход к систематизации процессов ИПД представлен в работе [8].

Благотворное влияние процессов ИПД на сплавы обусловлено, в первую очередь, сильнейшим измельчением зерен (в среднем, их размер уменьшается в 1000 раз, от 100 мкм до 0,1 мкм) и формированием специальных межзеренных границ. Последние упрочняют материал и обеспечивают его высокую пластичность благодаря тому, что допускают межзеренное проскальзывание. Так как упомянутые границы определяют свойства материалов и при этом имеют толщину порядка 1 нм, то полученные материалы относят к классу наноструктурных [2]. ИПД может усиливать действие таких известных механизмов изменения структуры и свойств, как твердорастворное упрочнение, а также упрочнение, вызванное дисперсными выделениями различных фаз.

Указанные выше эффекты приводят к следующим преимуществам наноструктурных сплавов по сравнению с традиционными:

- более высокая статическая прочность (от 20 % до 200 %, в зависимости от конкретных условий), в сочетании с повышенной пластичностью;
- более высокая усталостная прочность (от 10 % до 50 %, в зависимости от конкретных условий);
- повышенная эрозионная стойкость;
- высокая однородность структуры на микронных масштабах, гарантирующая малый разброс свойств, при заданной технологии обработки сплава;
- практически полное отсутствие текстуры и анизотропии;
- повышенная технологичность сплавов при обработке резанием, обеспечивающая возможность изготовления прецизионных узлов и деталей;
- снижение температуры сверхпластичности, что обеспечивает значительное сокращение энергозатрат и увеличение выхода годного при штамповке в этом режиме.

В процессах ИПД происходит упрочнение материала, кроме того, деформирование проводят в условиях существенного гидростатического сжатия, что в целом увеличивает удельные усилия деформирования. Возможности повышения температуры для снижения нагрузок при ИПД ограничены тем, что в материале не должны происходить рекристаллизационные процессы. Эти ограничения приводят к тому, что детали штамповой оснастки при реализации процессов ИПД работают на пределе своих возможностей. Это подтверждают как экспериментальные исследования [1, 2, 6], так и расчеты [11]. Значительные удельные нагрузки требуют учета комплексного влияния технологического процесса и конструкции штампа на деформацию элементов штампового блока и рабочего инструмента [12]. Такая ситуация приводит с одной стороны к ограничению технологических возможностей самого процесса ИПД и перечня обрабатываемых материалов, с другой препятствует его более широкому внедрению в промышленное производство.

При реализации процессов ИПД используют, как правило, два типа оборудования: универсальные гидравлические прессы с модернизацией системы выталкивателя и специализированные Т-образные прессы, обеспечивающие реверсивное деформирование заготовки, возможность создания активных сил трения, автоматизацию извлечения заготовки из канала после деформирования и др. Кроме того, оборудование отличается горизонтальной или вертикальной компоновкой расположения силовых цилиндров.

Промышленное освоение технологического процесса ВЭ требует совершенствования как универсального оборудования с целью его специализации, так и средств технологического оснащения процесса [15].

Для выбора параметров и обеспечения качества и надежности всей технологической системы, требуется также рассмотрение вопросов, связанных с применением систем автоматизированного проектирования и моделирования процессов ИПД, штамповой оснастки и оборудования [11, 16, 17].

Целью работы является совершенствование конструкций гидропрессового оборудования, технологической оснастки и средств автоматизации для реализации винтовой экструзии.

В рамках совместных работ ДГМА и ДонФТИ НАН Украины выполнено проектирование, изготовление и внедрение на базе ДонФТИ специализированной установки ВЭ на базе гидропресса усилием 4 МН, предназначенной для обработки сплавов титана. При проектировании

приняты следующие технические характеристики устройства противодействия к прессу 4 МН: максимальное усилие противодействия – 630 кН, при возврате – 240 кН; давление в гидросистеме – 32 МПа; рабочий ход – 500 мм.

Система нагрева штамповой оснастки обеспечивает температуру рабочего инструмента до 400 °С, скорость выдавливания заготовки – до 10 мм/с. Установка позволяет получать образцы из титана с предельными размерами 30 × 40 × 140 мм методом ВЭ.

Разработанное устройство противодействия представляет собой гидравлический цилиндр двойного действия поршневого типа. Исполнительный цилиндр изготовлен и установлен на отдельной плите под столом пресса между двумя продольными ребрами станины. Сверху крепление цилиндра осуществляется разрезным кольцом, расположенным в кольцевой проточке концентрично корпусу. Полукольца фиксируются опорным и дополнительным фланцами, которые передают рабочую нагрузку на станину, удерживают элементы узла в сборе и упрощают установку цилиндра на прессе. Снизу цилиндр крепится гайкой, которая закручивается на корпусе цилиндра до упора в продольные ребра станины пресса. Присоединение нижнего пуансона штамповой оснастки к штоку цилиндра узла противодействия осуществляется через проставку накладными гайками.

Поршневая и штоковая полости исполнительного цилиндра подключены к гидросистеме пресса трубопроводами высокого давления. Перемещение штока цилиндра производится с помощью дополнительной гидропанели с элементами управления потоком рабочей жидкости, которые обеспечивают плавную регулировку давления в цилиндре и предохранение его от мультипликации высокого давления при работе основного цилиндра установки. Регулировка противодействия при ВЭ позволяет получать качественные заготовки из титановых сплавов и других материалов [3].

Применение САД-системы при проектировании позволило проверить кинематику смещения элементов конструкции при работе, выполнить проектирование деталей рабочего инструмента, в частности, винтового канала матрицы для последующего изготовления. Разработана новая перспективная конструкция рабочей матрицы с плоским разъемом, что упрощает ее изготовление [18]. Применение САЕ-системы обеспечило расчет элементов штамповой оснастки, работающих при высоких удельных нагрузках (до 1700 МПа) [13].

Рассмотрим основные технологические особенности конструкции, кинематики модернизированного гидропрессового оборудования и разработанного блока штамповой оснастки, обеспечивающих автоматизацию процесса винтовой экструзии.

Особенностью штампового блока является ряд новых технических решений для повышения его эффективности и упрощения обслуживания. Конструктивно установка ВЭ (рис. 1) состоит из нескольких относительно независимых узлов. Узел верхнего пуансона 1 крепится на верхней подвижной поперечине пресса 2. При установке пуансона 3 в корпус закладывают опоры (сферическая пята и подпятник), затем корпус с опорами пуансона крепят на верхней плите. Для поддержки и дополнительного направления пуансона 3 предусмотрена направляющая втулка 4, зафиксированная на пуансоне двумя штифтами.

На нижней плите установлены следующие блоки: основной контейнер 5, матричный узел 6, приемный контейнер 7. Основной контейнер и матричный узел выполнены двухбандажными. Крепление матрицы и основного контейнера между собой, а также к нижней поперечине пресса 8 осуществляется системой промежуточных плит и шпилек 9. Для перемещения деталей блока приемного контейнера предусмотрены подвижная плита и тяги, крепящиеся на верхней подвижной поперечине пресса 1.

Для упрощения обработки рабочего канала заданной формы приемный контейнер выполнен разъемным из двух полуматриц. Последние размещены в бандаже, который обеспечивает силовое замыкание, раскрытие и удержание полуматриц. Такая конструкция позволяет улучшить доступ к каналу и опорной поверхности полуматриц для смазки, а также упростить удаление детали без разборки штампа.

На нижней базовой плите установлен клин 10, который прижимает приемный контейнер к нижнему торцу матрицы и замыкает усилие прессования на нижней базовой плите штампа и пресса 8.

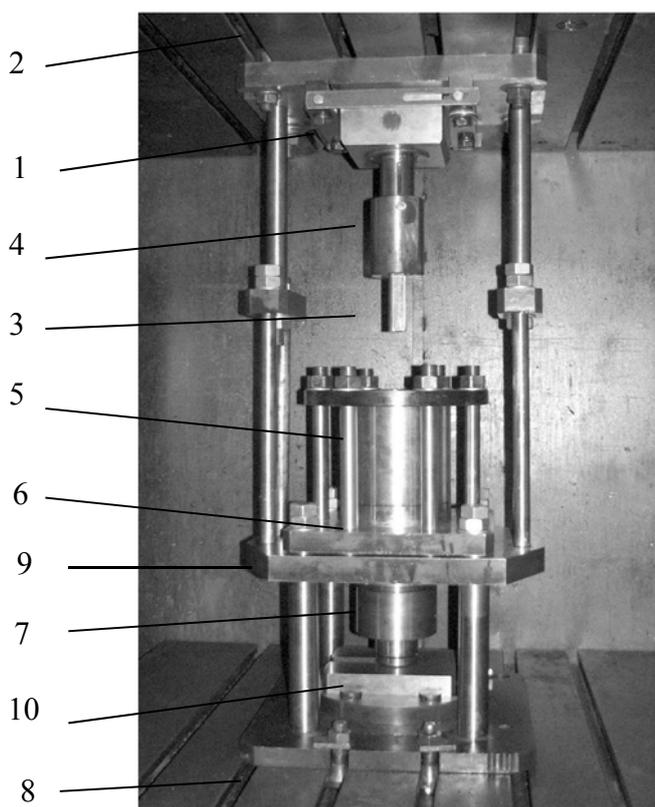


Рис. 1. Штамповая оснастка для винтовой экструзии на прессе усилием 4МН

Для наглядности работы предложенной конструкции приемного контейнера на рис. 2 показан цикл его работы. В процессе ВЭ в контейнер (не показан) устанавливают фальшзаготовку 1, затем заготовку 2 и снова фальшзаготовку 3. Нижний пуансон 4 поднимают, с помощью цилиндра противодействия в верхнее положение, торец нижнего пуансона располагается под винтовой матрицей 5 (см. рис. 2, а). Для ограничения верхнего положения пуансона 4 на штоке цилиндра противодействия установлен упор, который упирается снизу в стол пресса 8. При этом крепление нижней плиты штампа разгружено от усилия цилиндра устройства противодействия.

После этого, верхнюю поперечину с пуансоном опускают и продавливают фальшзаготовки 1, 3 и заготовку 2 через матрицу 5 в приемный контейнер 6 (см. рис. 2, б), который опирается на клин 7 с пазом для размещения нижнего пуансона. Через клин усилие передается на нижнюю плиту пресса 8.

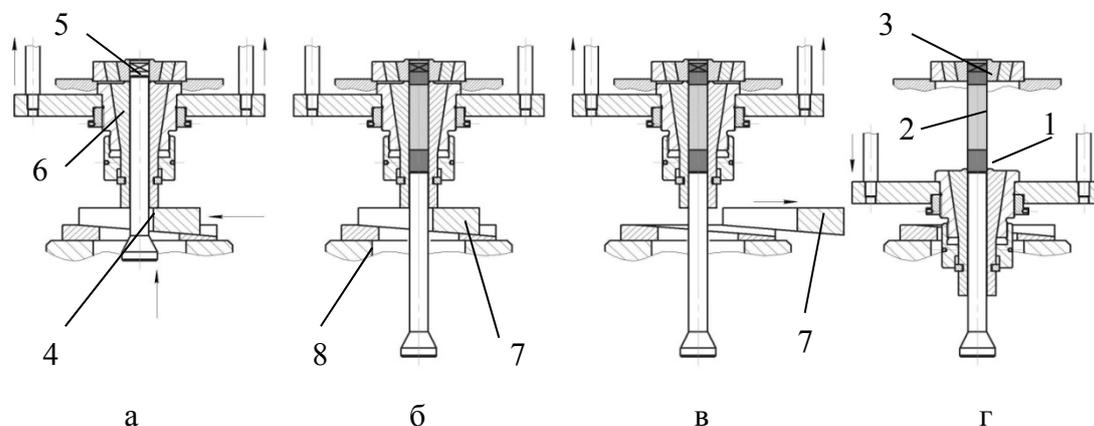


Рис. 2. Цикл работы матрицы и приемного контейнера специализированной установки винтовой экструзии 4 МН

В процессе прессования пуансон 4 отходит в нижнее положение, создавая усилие противодействия на основную заготовку 2 через фальшзаготовку 1.

После прессования верхнюю поперечину поднимают в крайнее верхнее положение, обеспечивая снятие нагрузки с клина 7, фиксирующего приемный контейнер и извлекают клин (см. рис. 2, в). Далее с ходом верхней поперечины вниз производят перемещение приемного контейнера 6, при этом происходит освобождение обработанной заготовки 2 (см. рис. 2, г) и ее извлекают вместе с нижней фальшзаготовкой 1. Верхняя фальшзаготовка 3 не извлекается и остается в матрице 5. После извлечения и осмотра заготовки и элементов оснастки поперечина пресса поднимается вверх, оснастка закрывается и, при необходимости, цикл работы повторяется.

В процессе экспериментов отработана технология получения качественных заготовок наноструктурированного титана ВТ1-0 ГОСТ 26492-85 (Химический состав ГОСТ 19807-91) с размерами $30 \times 40 \times 140$ мм.

Чтобы обеспечить повышение производительности процесса ВЭ требуются средства механизации вспомогательных перемещений элементов технологической оснастки, в частности клина 7 (см. рис. 2). Для перемещения клина разработан специальный узел с приводом от дополнительного цилиндра поршневого типа (рис. 3), который подключается к общей гидросистеме и системе управления прессы.

Рама 1, на которой установлен цилиндр 2, крепится к нижней плите штампа 3 и является направляющей для клина 4 штампа. Соединение клина со штоком 5 цилиндра 2 выполнено шарнирным 6, чтобы исключить передачу нагрузок на шток 5 при силовом нагружении клина 4. Переднее положение клина фиксируется после настройки упорами 7. В пазу клина установлен нижний пуансон 8. Аппаратура управления цилиндром расположена на отдельной гидропанели.

Перспективными направлениями для дальнейшего совершенствования процесса ВЭ и оборудования являются: разработка новых схем деформирования с интенсификацией сдвиговых деформаций с целью повышения выхода годного обрабатываемого материала; конструктивное упрощение и повышение жесткости технологической оснастки, работающей в условиях сложного пространственного нагружения; повышение температуры нагрева оснастки и скорости подвижных частей оборудования для расширения номенклатуры обрабатываемых материалов; автоматизация установки для ВЭ; разработка систем автоматизированного проектирования технологического процесса и штамповой оснастки для упрощения модификации конструкций.

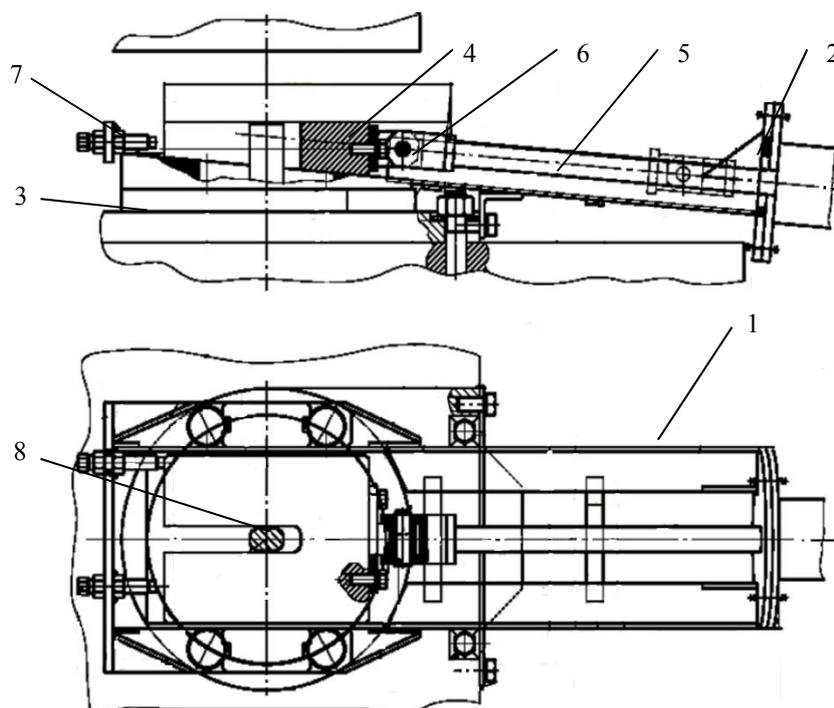


Рис. 3. Схема узла автоматизации процесса винтовой экструзии на прессе 4 МН

ВЫВОДЫ

На основе анализа существующих и перспективных методов ИПД выделены направления совершенствования конструкций узлов штамповой оснастки, гидропрессового оборудования и средств автоматизации, разработаны и реализованы конструктивные решения, которые позволили освоить полупромышленную технологию ВЭ сплавов титана в ДонФТИ им. А. А. Галкина НАН Украины.

Перспективными направлениями для дальнейшего развития процессов ИПД являются: разработка и экспериментальное определение технологических возможностей новых схем деформирования, конструктивное упрощение оснастки.

Для повышения качества изделий необходима также автоматизированная система контроля параметров технологического процесса и управления оборудованием, разработка САПР процесса и штамповой оснастки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Estrin Y. *Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science* / Y. Estrin, A. Vinogradov // *Acta Materialia*. – 2013. – № 61. – P. 782–817.
2. Валиев Р. З. *Объемные наноструктурные металлические материалы* / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М.: ИЦК Академкнига, 2007. – 397 с.
3. Segal V. M. *Equal channel angular extrusion of flat products* / V. M. Segal // *Materials Science and Engineering: A*. – 2008. – Vol. 476. – N 1–2. – P. 178–185.
4. Salishchev G. A., Valiakhetov O. R., Galeev R. M. // *J. Mater. Sci.* – 1993. – № 28. – P. 2898–2903.
5. Saito Y., Utsunomiya H., Tsuji N., Sakai T. // *Acta Mater.* – 1999. – № 47. – P. 579–583.
6. *Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций* / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. – Донецк: ТЕАН, 2003. – 87 с.
7. *Useful properties of twist extrusion* / Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, S. Synkov, D. Orlov // *Materials Science and Engineering*. – 2009. – A 503. – P. 14–17.
8. 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.
9. Евстратов В. А. *Основы технологии выдавливания и конструирования штампов* / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища шк., Изд-во Харьк. Ун-та, 1987. – 144 с.
10. *Холодная объемная штамповка. Справочник* / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
11. Тарасов А. Ф. *Расчет напряженно-деформированного состояния в элементах штампов с использованием пакета конечноэлементного анализа COSMOS/Works* / А. Ф. Тарасов, С. А. Короткий // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2004. – № 8. – С. 27–30.
12. Тарасов А. Ф. *Влияние конструкции штампа на деформацию элементов штампового блока и рабочего инструмента штампа* / А. Ф. Тарасов, С. А. Короткий // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2006. – № 2. – С. 34–37.
13. Кулагин Р. Ю. *Установки винтовой экструзии для лабораторного и промышленного применения* / Р. Ю. Кулагин // *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр.* – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 261–266.
14. Пат. № 74317 України, МПК G 22 F 1/16, B 21 J 5/00. *Спосіб одержання ультрадрібнозернистих заготовок із металів та сплавів* / Тарасов О. Ф., Периг О. В., Алтухов О. В. – № и 201204007; заявл. 02.04.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.
15. *Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами: монография* / Е. А. Фролов, А. Я. Мовшиович, И. В. Манаенков, А. Ф. Тарасов, Л. Л. Роганов. – Харьков: УкрГАЗТ; Краматорск: ДГМА, 2010. – 287 с.
16. *Системные методы в автоматизации проектирования изделий машиностроения: монография* / Тарасов А. Ф., Бильк Г. Б., Сагайда П. И., Винников М. А., Короткий С. А. – Краматорск: ДГМА, 2005. – 240 с.
17. Тарасов А. Ф. *Анализ способов повышения надежности штамповой оснастки* / А. Ф. Тарасов, С. А. Короткий // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: темат. зб. наук. праць*. – Краматорськ: ДДМА, 2001. – С. 124–127.
18. Пат. № 71855 України, МПК B 21C 25/00. *Роз'ємна матриця для гвинтової екструзії* / Бейгельзімер Я. Ю., Тарасов О. Ф., Кулагін Р. Ю. – № и 201201260; заявл. 07.02.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14.

Бейгельзимер Я. Е. – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник ДонФТИ НАНУ;
Тарасов А. Ф. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. КИТ ДГМА;
Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф. каф. МПФ ДГМА;
Кулагин Р. Ю. – мл. науч. сотрудник ДонФТИ НАНУ;
Алтухов А. В. – ст. преп. каф. КИТ ДГМА.

ДонФТИ НАНУ – Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина
Национальной академии наук Украины, г. Донецк.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: yanbeygel@gmail.com; kit@dgma.donetsk.ua; astratsl@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22.12.2013 г.