

**Драгобецкий В. В.
Тараненко М. Е.**

ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ 70 ЛЕТ

(к 90-летию ХАИ)

В апреле 1930 г. Приказом ВСНХ был образован Харьковский авиационный институт. Еще до начала строительства корпусов института началась учебная работа со студентами и научная работа преподавателей по проектированию современных конструкций самолетов и совершенствованию технологии их производства [1]. Появились первые успехи и достижения – самолеты ХАИ-1 – первый в мире самолет с убирающимся шасси и улучшенной аэродинамикой.

Но успешная работа была прервана Великой Отечественной войной, Институт был эвакуирован в г. Казань, где в трудных условиях продолжалось обучение студентов и научно-исследовательская работа.

В это время начали появляться новые технологии производства военной и гражданской авиационной техники.

После возвращения в Харьков в трудных условиях восстановления всего народного хозяйства и, в частности, института ведущему преподавателю ХАИ Ростиславу Вячеславовичу Пихтовникову пришла идея использования энергии взрыва для созидательных целей. Как он сам рассказывал одному из авторов, идея вырисовывалась при проходе мимо кучи искореженной взрывом военной техники, находящейся на территории института. Он обратил внимание на очень большую энергию, сосредоточенную в малом объеме взрывчатого вещества. Возник вопрос – как эту энергию использовать для полезной пластической деформации? Надо отметить, что к этому моменту начала проявляться проблема штамповки крупногабаритных деталей самолетов из прочных труднодеформируемых металлов. Действующего промышленного оборудования для этого не хватало.

Весной 1949 г. им была поданы заявки на авторские свидетельства на способ и устройство для штамповки взрывом. Судьба у них была сложной. Сначала был отказ по формальным признакам, потом после соответствующих возражений начали ссылаться на известное решение и, только, в конце 1963 г. были выданы свидетельства под № 157957 (заявка № 369937/25) и № 157958 (заявка № 369938/25), опубликованные 18.10.1963 г.

«Известным» решением было авт. свидетельство СССР № 122731 (заявка № 562343/25) от 20.11.1956 г. авторов В. И. Еременко и Ю. С. Навагина «Способ штамповки взрывом». Сравнение формул изобретений показывает, что их смысл одинаков, но формула Ю. С. Навагина более лаконична. Следует отметить, что он к тому времени был сотрудником Ленинградского кораблестроительного института, можно допустить, что заявленная идея у него появилась при анализе повреждений корпусов судов при взрывах.

Несмотря на отсутствие официального оформления идеи исследования в новом направлении расширились и углублялись. Первоначально решались вопросы выбора и формы использования взрывчатого вещества – метательных (пороха), бризантных и горючих газов. Выбирались приемлемые скорости детонации, виды и формы передающей среды (сыпучие или жидкие среды). Методы упаковки доз взрывчатого вещества и, конечно, разрабатывались и экспериментально проверялись методы и методики расчета потребной энергии. Создавалась экспериментальная база – взрывной полигон, простые устройства для преобразования импульсной выделившейся энергии в пластическую работу заготовок разных форм.

Большинству исследователей этих процессов стали очевидны громадные потенциальные возможности продуктивного применения импульсного выделения энергии. Но для каких объектов производства они наиболее перспективны? На каких производствах можно получить максимальный технико-экономический эффект?

Необходимо заметить, что со середины 50-х годов XX века в Советском Союзе начала активно возрождаться промышленность и, в первую очередь, машиностроение. Появились проекты создания новых типов больших самолетов (военной и транспортной авиации), началось освоение космоса, которое невозможно без тяжелых и мощных ракет. Напомним, что первый искусственный спутник Земли был запущен в Советском Союзе – в 1957 г., а первый полет человека в космос состоялся в 1961 г. Эти достижения не могли бы свершиться без наличия крупногабаритной техники. Ее создание было возможно только при наличии высокопрочных материалов и методов их обработки. Не следует отбрасывать фактор «холодной войны» между Западом и СССР. В США к этому времени также начались интенсивные исследования возможностей применения импульсных технологий в военно-промышленных комплексах США и других западных стран. Об этом свидетельствовал увеличивающийся поток патентов США, Англии, Японии на способы и устройства применения импульсного выделения энергии для формообразования.

Запросы промышленности, сопровождающиеся возможностью создания новых эффективных технологий, потребовали от исследователей импульсных процессов проанализировать существующие технологические процессы производств разных направлений и определить группы деталей, изготовление которых традиционными способами было очень трудоемко и сложно.

В результате такого анализа было показано, что существует большая номенклатура крупногабаритных листовых деталей, получение которых на существующем прессовом оборудовании крайне затруднено. Эта группа состоит из двух подгрупп: детали, изготавливаемые из плоских листовых заготовок, и детали, для которых заготовками служат оболочки (цилиндрические или конические) в свою очередь, полученные гибкой из плоских заготовок.

Другой большой группой процессов получения крупногабаритных (тяжелых) деталей оказались процессы, основанные на метании инструмента. К ним относятся процессы резки горячего и холодного проката (слябы и круглый прокат), объемной штамповки (лопаток газотурбинных двигателей, крыльчаток и др.).

Разные задачи, ставшие перед исследователями этих процессов, состав и формы взрывчатых веществ, методы и способы их исследований, а также разные источники финансирования потребовали структуризации коллектива исследователей. В рамках ХАИ было создано три направления исследований, впоследствии переросшие в отраслевые научно-исследовательские лаборатории:

– НИО (ОНИЛ)-1 под научным руководством профессора, д-ра техн. наук Р. В. Пихтовникова;

– НИЛ (ОНИЛ)-2 под научным руководством профессора, д-ра техн. наук В. Г. Кононенко;

– НИЛ-3 под научным руководством профессора, д-ра техн. наук Ю. Н. Алексева.

Общее научное руководство осуществлял проф. Р. В. Пихтовников.

Заметим, что авторы являются выходцами из группы листовой штамповки и дальнейшее повествование сосредоточено на истории развития этого крыла научной школы профессора Р. В. Пихтовникова.

При анализе номенклатуры деталей, изготавливаемых из листовых заготовок, появилось несколько характерных групп деталей:

– днища полусферической, эллиптической и другой поперечной формы сечения и круглые в плане;

– крупногабаритные коробчатые детали;

– детали сложной формы, характерные для обшивок самолетов;

– обечайки, изготавливаемые из цилиндрических или конических оболочек.

Эта группа сразу была разделена на несколько подгрупп: оболочные детали со средним диаметром более 300 мм, оболочки (трубчатые законцовки трубопроводов) штампуемые из тонкостенных труб, конические оболочки оживальной формы;

- другие детали типа полуторов или трубчатых поворотов;
- профильные детали, изготавливаемые малковкой или гибкой.

Докторская диссертация Р. В. Пихтовникова (1953г.) в основном разрешила и наметила пути развития штамповки-вытяжки и обтяжки взрывом. Ставится задача создания таких технологий изготовления деталей, которые требуют минимальных капитальных затрат (изготовление деталей в поле), всемерного сокращения ручных доводочных работ, а также сроков и затрат на технологическую подготовку производства. Эти технологии предназначались для мелкосерийного производства. Для деталей было предложено использовать технологическое оборудование (рис. 1): одноразовые бассейны (рис. 1, *а*), выполненные из плотной бумаги или картона (фанеры). Они устанавливаются непосредственно на плоскую заготовку. Их полость заполняют водой, а на проволочных растяжках подвешивают заряд бризантного взрывчатого вещества (БВВ). После производства взрыва заготовка прилегает к матрице, бассейн разрушается и передающая среда (вода) размещается по сторонам. Такой вариант вполне приемлем при отработке техпроцесса, но мало приемлем даже для изготовления небольших партий деталей. Повышенный расход одноразовых бассейнов и воды, как передающей среды, очень удорожал процесс изготовления.

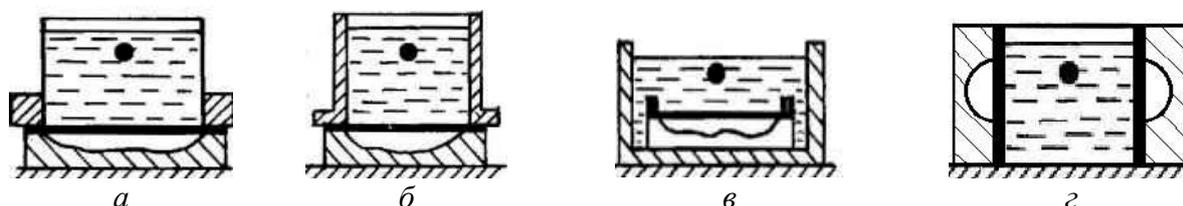


Рис. 1. Типовые схемы взрывной штамповки из листовых заготовок:

а – с разовым разрушаемым бассейном, *б* – со съёмным бассейном, *в* – со стационарным бассейном; *г* – штамповка-раздача

Для более крупных деталей (диаметром более 500 мм) рационально применять съёмные бассейны (рис. 1, *б*). Но и в этом случае повышенный расход воды, значительное время заполнения ею полости бассейна удлиняют процесс.

Более рациональной является схема с использованием стационарного бассейна (рис. 1, *в*). В этом случае установка заготовки на матрицу, прижим ее фланцев к матрице и установка заряда (монтаж системы зарядов) производится в открытом пространстве. Подготовленная оснастка с помощью грузоподъемных механизмов опускается на шаблонную плиту в бассейн, заполненный водой. Производится взрыв, оснастка переустанавливается на открытую площадку и разбирается.

Герметизация полости матрицы и места стыка разового или съёмного бассейна с оснасткой в простейшем случае проводится с помощью пластилина. Полость матрицы перед взрывом вакуумировалась до значений 0,4...0,6 атм. Для этого на рабочей площадке располагался вакуумный насос с ресивером большого объема.

Использование таких схем не ограничивало размеры штампуемых деталей. Стационарные бассейны выполнялись диаметром 2,0...8,0 м (на разных предприятиях).

Первоначально для опытного и индивидуального производства использовалась простейшая оснастка, выполняемая из бетона, иногда она облицовывалась стеклотканью, пропитанной эпоксидной смолой холодного отверждения.

Минимальные капитальные затраты, простой состав технологического процесса, практически неограниченные энергетические возможности и большая заинтересованность промышленных предприятий, особенно военно-промышленного комплекса, в изготовлении крупногабаритных листовых деталей из высокопрочных труднообрабатываемых материалов способствовало началу широкого внедрения взрывной штамповки. Взрывные технологии штамповки были внедрены на предприятиях Минавиапром, Минсредремаш, Минобщесмаш, Миноборонпром,

Министерства транспортного машиностроения, в городах: Москва, Ленинград, Воронеж, Жданов (Мариуполь), Киев, Харьков, Краснодар, Николаев, Павлоград и др. К 1965 г. реальный экономический эффект составил более 840 тыс. руб., а ожидаемый экономический эффект от расширения использования этой технологии приближался к 12 млн. руб.

Особенно перспективным выделяется процесс штамповки оболочек диаметром более 300 мм, толщиной более 1,5 мм из высокопрочных сталей и сплавов Ti, Cr, W и других элементов. Схема штамповки взрывом оболочек (рис. 1, 2) привлекает своей простотой. Полость

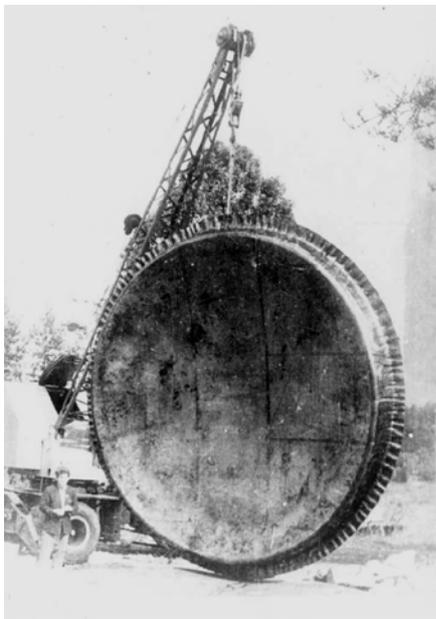


Рис. 2. Отштампованный взрывом параболический рефлектор диаметром 5000 мм

был изготовлен на опытной площадке, организованной в лесу под г. Ленинград. В качестве оснастки использовалась бетонная матрица, облицованная стекловолокнистым композитным материалом.

В акте выполненных работ записано, что технико-экономический эффект использования взрывной технологии составляет 65 тыс. руб. по сравнению с ручным способом при очень высоком качестве (точности) деталей. Для их изготовления традиционным способом потребовался бы пресс усилием 70 000 тонн.

Подобные суммы реального экономического эффекта были получены на многих предприятиях разных отраслей.

Безусловно, такие сложные взрывные работы не могли проводиться в ХАИ без участия отраслевых технологических институтов, таких как НИИ авиационной техники и организации производства (НИАТ), НИИТМ (Минобщемаш), НИИ Судпроект, головных технологических институтов Минсреднемаша, Миноборонпрома и других организаций и КБ.

В складывающейся в ХАИ научной школе импульсной обработки не забывали о популяризации своих научных разработок.

В 1964 г. в издательстве «Машиностроение» вышла монография Р. В. Пихтовникова и В. И. Завьяловой «Штамповка листового металла взрывом», в которой приведены исходные положения построения технологии, описаны экспериментальные результаты и намечены перспективы развития эффективных процессов штамповки взрывом.

В 1965 г. основан Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Обработка металлов давлением в машиностроении». В нем публиковались статьи с результатами научных исследований со всех стран. Всего вышло около 30 выпусков.

заготовки для изготовления оболочки является микробассейном, в котором располагается заряд БВВ в виде точечного заряда или линейного заряда из детонирующего шнура. В конструкции газотурбинных и воздушно-реактивных двигателей такие оболочки с разного рода карманами, рифтами и выштамповками составляют основу корпуса и газоздушного тракта двигателя. Изготовление таких оболочек диаметром 500...2000 мм на прессовом оборудовании практически невозможно. А изготовление по участкам с последующей сваркой приводит к огромной трудоемкости и очень низкому качеству. Поэтому для подобных деталей взрывная штамповка – единственный приемлемый вариант исполнения детали. А изготовление многослойных сопел ракетных двигателей трудно представлять без взрывной раздачи.

Наиболее ярким и показательным является технологический процесс изготовления партии параболических рефлекторов диаметром 5000 мм из стали 1X18H10T толщиной 5 мм для предприятия ЦНИИ «Морфизприбор» (рис. 2). Рефлектор

Чуть позже в 1970 г. вышел первый выпуск межвузовского тематического сборника научных трудов «Импульсная обработка металлов давлением». Его научным руководителем был профессор Р. В. Пихтовников. Выпуск этого сборника продолжался до 1997 г. Позже, в связи с большим количеством научных результатов были основаны и другие сборники.

Научно-технические и практические результаты исследователей этого направления в обработке металлов давлением широко публиковались в ведущем научно-техническом журнале «Кузнечно-штамповочное производство». Значительные теоретические и экспериментальные результаты и их реальное внедрение в производство легли в основу более 50 диссертаций сотрудников вузов и предприятий.

К научной работе широко привлекались заинтересованные студенты, которые в дальнейшем становились аспирантами. К их числу относятся и авторы.

Широкий спектр исследований процесса взрывной обработки, значительные результаты внедрения разработок в промышленность потребовали государственной координации работ в этом направлении.

В 1963 г. Постановлением СМ УССР В ХАИ была организована проблемная научно-техническая лаборатория по использованию импульсных источников энергии в промышленности. В ее состав входило три отдела под научным руководством профессоров Р. В. Пихтовникова, В. Г. Кононенко, и Ю. Н. Алексева.

В этот период стало ясно, что взрывные технологии должны осуществляться не в полевых условиях, а в условиях серийного производства в особых помещениях и независимо от погоды. В середине 60-х годов произошло переподчинение ХАИ Министерству высшего и среднего образования СССР. ПНИЛ попал в сферу управления Госкомитета по науке и технике СССР. В это же время вышло Постановление партии и СМ СССР об интенсификации исследований и внедрения в производство импульсных технологий в основных отраслях промышленности. Началась государственная поддержка этих работ. Было открыто финансирование строительства цехов и участков штамповки взрывом на ряде предприятий промышленности (г. Запорожье, г. Николаев, г. Рыбинск и др.), на заводе тяжелого тракторного машиностроения (г. Жданов, ныне Мариуполь).

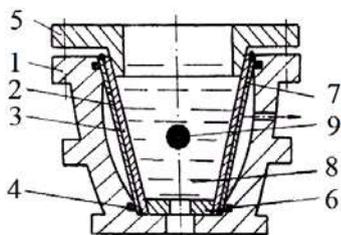


Рис. 3. Схема штамповки деталей типа «оболочка» оживальной формы

В первую очередь были определены моторостроительные заводы, так как при изготовлении оболочек взрывом были получены прекрасные технико-экономические результаты. Такие результаты во много определяются простой схемой реализации процесса штамповки (рис. 3). Заготовка (одно- или двухслойная) помещается в полость матрицы 1 и прижимается к уплотнениям 4 прижимом 5 и пробкой 6. В полость двухслойной заготовки (2 и 3) заливается вода 8 и в ней размещается заряд БВВ 9. Полость 7 между наружной заготовкой и матрицей вакуумируется. При взрыве заряда БВВ происходит раздача заготовки с ее прилеганием к стенкам матрицы.

В ряде вариантов конструкций штамповой оснастки эластичные уплотнительные кольца заменялись пластилином, заполняемым встык поверхностей заготовки и матрицы с помощью простейшего ручного инструмента. Это несколько удлиняло, но упрощало процесс.

Собранная оснастка, снаряженная зарядом БВВ, помещалась в стационарный бассейн или взрыв производился на открытой площадке.

Сложные по форме обечайки с разного рода выштамповками, рифтами и карманами получались отличного качества и практически не требовали ручной доработки. Подрезка торцов в размер производилась на механическом оборудовании. Материалы обечаек были разнообразными: авиационные алюминиевые и титановые сплавы, высокопрочные стали и жаропрочные сплавы (рис. 4).

Они должны выпускаться серийно, т. е. в специализированных цехах, а не в открытых полигонных условиях. Поэтому возникла задача проектирования соответствующих цехов, защитных конструкций от опасного воздействия взрыва и улучшения условий труда.

Отработку технологий и организацию производства в цехах проводили Мартынов Е. Н., Колдязный А. А., Губский А. А., Каганович Л. Е., Баранников А. А., Кацюба В. Н.



Рис. 4. Оболочковые детали, изготовленные штамповкой взрывом

Одним из пунктов координационного плана выполнения работ по Постановлению ГКНТ было определение номенклатуры деталей, переводимых на импульсную штамповку в первую очередь.

Научное изучение номенклатуры штампуемых деталей позволило выделить некоторые характерные группы: днища, коробчатые детали, оболочки и трубы. Детали в этих группах отличались габаритными размерами, соотношениями размеров (особо тонко- и толстостенные и др.), материалами (пластичные, малопластичные и др.), требованиями к качеству (точность формы, размеров и т. д.) и программами выпуска или условиями производства. Внимание исследований было сосредоточено на выполнении требований технических условий и получении путей расширения технологических возможностей процесса при максимальной эффективности. К ним относятся:

- особо тонкостенные крупногабаритные днища (Савченко Н. Ф.);
- коробчатые детали (Горбань В. П.);
- полуторы разных геометрических соотношений (Рева Л. С.);
- пакетная штамповка перфорированных деталей из титановых сплавов (Михайлюта И. О.).

Исследовались, отработывались и внедрялись в производство техпроцессы взрывной штамповки из нетрадиционных заготовок – многослойные сильфоны из алюминиевых сплавов для компенсации деформаций мощных тоководов (Дорофеев В. Г.), трехслойные оболочки для конфузурной части сопел ракетных двигателей (Еременко В. Е.), профильные заготовки для гибки и малковки (Семишов Н. И., Молодых С. И.), пакет часто перфорированных заготовок из титановых сплавов для придания им заданного профиля (Михайлюта И. О.).

Огромную помощь во всех исследованиях и в описании напряженно-деформированного состояния заготовки и его изменения в короткие промежутки времени, а также сопротивления деформированию металла при высоких скоростях оказывали Корнилов Г. Л., Полторушников С. А., Лепихин П. П., Каньгин С. Л. и другие сотрудники кафедры.

Получению достоверных результатов экспериментальных исследований, новых методик исследований способствовала группа измерений, созданная еще Р. В. Пихтовниковым и поддерживаемая В. К. Борисевичем в плане постоянного дооснащения новой научной аппаратурой. Ею в свое время руководили высококвалифицированные специалисты Касьян В. Г., Коваленко П. И., Соломяный А. У.

С конца 60-х годов до начала 90-х развитие технологий штамповки взрывом БВВ происходило по нескольким направлениям.

Стало ясно, что более широкое использование импульсной штамповки невозможно без механизации вспомогательных операций (прижима фланцев заготовки, её установки и снятия, упрощения установки заряда БВВ). Для этого рассматривались варианты использования существующего оборудования, например, падающих молотов, или создания оригинальных конструкций взрывных прессов, например, для штамповки (формовки) панелей теплообменников или штамповки-вытяжки. Для этого исследовались схемы: метания передающей среды взрывом и его прямого воздействия. Было создано несколько вариантов конструкций. Во всех них возникли сложности с установкой заряда БВВ или их системы. Кроме того, стойкость взрывных камер была невысокой (Кириченко Л. Р., Исаенко В. И., Павиченко В. П., Горбань В. П. и др.).

В связи с начавшимся применением в аэрокосмической технике прочных, но малопластичных сплавов, начались использования возможностей использования взрывной штамповки для формообразования нагретых заготовок. В этом случае в качестве передающей среды применялся песок. Эти исследования легли в основу ряда диссертаций (для относительно толстых деталей – Елисеев В. И., Турчин С. П., Кочетов П. П. и для относительно тонких оболочек из жаропрочных сплавов – докт. дис. Сабелькина В. П.).

Большое внимание научным руководителем НИО-1 проф. В. К. Борисевичем уделялось развитию методов автоматизированного проектирования технологических процессов взрывной штамповки и программного обеспечения расчета (Андриенко А. М., Имшинецкий А. Д., Потапенко А., Зайцев В. Е., Кривцов В. С.). Разработанный системный функционально-адаптивный подход к проектированию техпроцессов и оборудования лег в основу докт. дис. Кривцова В. С.

Интересно и своеобразно складывалось развитие технологий обработки металлов давлением. Почти в тот же период 15.04.1950 г. советский изобретатель Л. А. Юткин подал заявку на «Способ получения высоких и сверхвысоких давлений» и получил авт. свид. СССР № 105011, опубл. в БИ № 1, 1957 г. Получение таких давлений происходило при высоковольтном электрическом разряде в воде. В техническом сообществе стали использовать термин «электрогидравлический эффект», а в приложении к штамповке – электрогидравлическая штамповка (ЭГШ). Схема использования эффекта привлекает своей простотой – через высоковольтный трансформатор в батарее конденсаторов накапливается электрическая энергия, а затем по команде через формирующий разрядник (своеобразный высоковольтный выключатель) высокий потенциал подается на рабочие электроды, находящиеся в воде. Происходит электрический пробой межэлектродного промежутка и вся запасенная энергия выделяется на нем. При киловольтных (кВ) напряжениях и малом сопротивлении промежутка через него протекают большие электрические токи (сотни кА). Они вызывают быстрое испарение окружающей жидкости, повышается давление парогазовой смеси до значений 10...100 МПа. Через неиспарившуюся часть воды это давление подается объекту обработки (заготовке). Процесс продолжается 10...100 мкс, реализуется тепловой взрыв воды.

В Советском Союзе образовались несколько творческих коллективов, которые начали разрабатывать установки для электрогидравлической штамповки. Наиболее известными были коллективы Проектно-конструкторского бюро электрогидравлики АН УССР (ныне Институт импульсных процессов и технологий, г. Николаев), НИАТ (рук. сектора Б. Г. Красичкова) и Савеловского машзавода (гл. инж. А. И. Горохович). Ими были созданы ряд электрогидравлических установок для ЭГ-штамповки листовых и трубчатых деталей. При создании ПНИЛ Р. В. Пихтовников тоже организовал группу по исследованию ЭГШ (рук. доц., канд. техн. наук Ю. И. Чебанов). Начались исследования в этом направлении.

Для широкой номенклатуры деталей, изготовленных из трубчатых заготовок, возникла необходимость производства и изготовления пресс-пушек, эксплуатирующихся в закрытых помещениях. Впервые штамповка на пресс-пушках была проведена в 1960 г. и показала свою высокую эффективность.

Разнообразную номенклатуру обшивок, облицовок, перегородок и панелей жесткости толщиной 1,0...2,5 мм из относительно легкодеформируемых материалов. НИАТ рекомендовал для изготовления на электрогидравлических прессах типа ПЭГ (Савеловского машзавода).

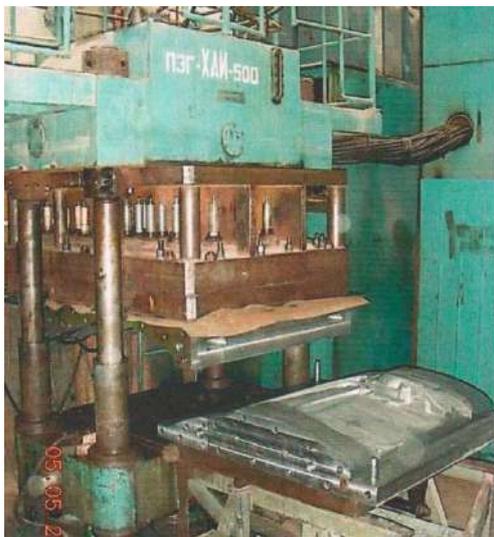
Изготовление деталей с габаритными размерами более 1,0 метра и толщиной более 2 мм при небольших партиях выпуска допускалось в полигонных условиях (временно).

В 1970 г. был запущен в эксплуатацию импульсный корпус ХАИ, большая часть которого предназначалась для исследовательской, конструкторской и экспериментальной работы по государственным планам ГКНТ. Достраивался экспериментальный полигон (третий по счету). Он оснащался броней, бронекamerой, стационарным бассейном, вакуумной камерой, была выделена площадка для установки взрывной штамповки и, самое главное, грузоподъемной эстакадой.

При исследованиях процессов штамповки взрывом крупногабаритных деталей проявилась проблема управления нагружением заготовки. Игнорирование этой проблемы приводило к очень быстрому разрушению штамповой оснастки, упругому последствию оснастки или самой детали. В частности возник вопрос, с какой скоростью должна приближаться заготовка к поверхности матрицы, чтобы свести к минимуму упругое последствие? С нулевой скоростью или определенной? Эта проблема была решена в докторской диссертации В. К. Борисевича (1979 г.). Но при взрыве БВВ механизмы управления ограничены.

Проблема управления нагружением проявилась и при электрогидравлической штамповке крупногабаритных деталей на ЭГ-прессах с достаточно большой энергией (ПЭГ-100, ПЭГ-150, ПЭГ-250) на Казанском авиационном заводе им. Горбунова и вертолетном заводе в Казани, Куйбышевском авиационном заводе (ныне г. Самара, Россия). Несмотря на многократное повторение разрядов с высокой энергией некоторые формы деталей оказывались недоштампованными. Повышенное количество выделенной энергии приводило к катастрофическому разрушению электродной системы. Кроме того, при ЭГ-штамповке крупногабаритных деталей начинала сказываться недостаточная энерговооруженность ЭГ-прессов. Задача недостатка энергии могла быть решена концентрацией выделения энергии над требуемыми участками заготовки. Варианты такого подхода были предложены в дис. работах Тараненко М. Е. и Шипилова Ю. В.

В 1979 г. Ю. И. Чебанов и М. Е. Тараненко с соавторами подали заявку на авт. свид. «Устройство для ЭГШ», в котором ЭГ-разряд проводился на нескольких электродах. Был получен Патент Украины на изобретение № 4702, опубл. 28.12.94 г., бюл. 7-1. В дальнейшем на базе него был создан уникальный ЭГ-пресс с запасаемой энергией до 500 кДж ПЭГ-ХАИ-500, реализующий пространственно-временное управление нагружением заготовок (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Пресс ПЭГ-ХАИ-500:

а – технологический блок; б – рабочая поверхность многоразрядного блока

На этом прессе были опробованы технологии последовательной штамповки крупногабаритных деталей разных типов: панелей кузовов автомобилей, высокоточных параболических антенн космической связи, панелей жесткости авиационных конструкций и панели теплообменников, деталей транспортных систем сыпучих продуктов и других деталей.

Термин «уникальный» здесь употреблен не случайно. На рис. 5, б показан внешний вид энерговыделяющей поверхности многоконтурного разрядного блока пресса размерами 1580 × 1130 мм. В 46 разрядных полостях этого МРБ каждые 120...180 с может выделять 500 кДж энергии. Много это или мало?

Для читателей далеких от техники приводим интуитивно понятное соответствие – это значение энергии равно энергии сбрасывания груза массой 50 т с высоты 1 м или массой 1 т с высоты 50 м! Зоной выделения такой энергии можно управлять.

Некоторые детали, изготовленные на этом прессе, показаны на рис. 6.

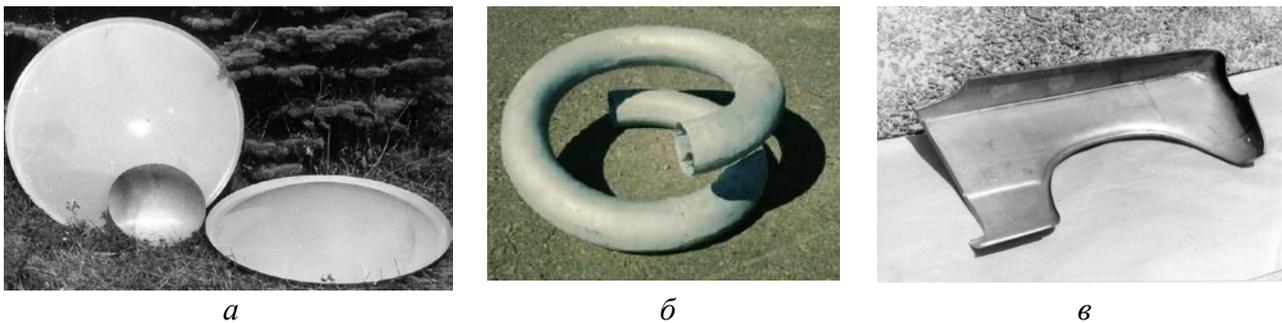


Рис. 6. Внешний вид деталей, изготовленных на прессе ПЭГ-ХАИ-500:

а – высокоточные параболические зеркала антенн космической связи диаметром 900 мм; б – элемент пневматической транспортной системы сыпучих продуктов; в – крыло автомобиля ВАЗ 2106

Результаты этих исследований были обобщены в диссертации д-р техн. наук М. Е. Тараненко (1998 г.). Дальнейшие исследования процессов нагружения заготовки и создания новых технологий были выполнены в канд. диссертациях А. А. Антоненко, М. К. Князева, Н. С. Жердева.

При дальнейших исследованиях возможностей временного управления нагружением выявились новые потенциально привлекательные особенности мощного виброимпульсного воздействия на объект обработки.

Почти одновременно с учеными СО АН СССР и Института электросварки им. Е. О. Патона в ХАИ начались исследования процессов сварки и упрочнения взрывом (Сазоненко Н. Д., Самойлов В. Я.). К этим исследованиям подключился Драгобецкий В. В., имевший большой производственный опыт по плакированию взрывом, полученному на Уралхиммаше. В 2003 г. эти исследования послужили основными для его обобщающей научной работы по обработке взрывом изделий из слоистых композиций (дис. д-ра техн. наук). Образцы сечений сварки взрывом, выполненные Драгобецким В. В. на Уралхиммаше, показаны на рис. 7. Первая деталь круглого сечения из трех материалов: сердцевина сварена из меди и латуни и окружена приваренной оболочкой из нержавеющей стали. Вторая деталь – 60-слойная пластина из стали X18H9T, латуни и меди М2Р (каждый слой по 2 мм).

Значительная часть тематики научной школы по направлениям сварки и упрочнения взрывом, а также углубленного изучения таких эффектов высокоскоростного нагружения в приложении к получению изделий с более плотными структурами продолжила развитие в Кременчугском национальном университете им. Михаила Остроградского под научным руководством д-р техн. наук В. В. Драгобецкого. При упрочнении зубьев горных машин с помощью управления плоской и сходящимися ударными волнами в металле были получены наноподобные структуры, существенно увеличивающие стойкость поверхностей к истиранию.

Елисеевым В. И. была отработана технология горячей штамповки взрывом шаровых опор из толстостенных (стенкой 16 мм) стальных труб (рис. 8).

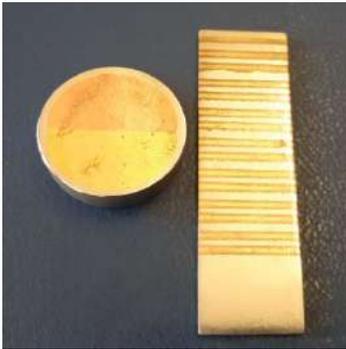


Рис. 7. Образцы деталей, сваренных взрывом



Рис. 8. Шаровая опора автомобиля КрАЗ: наружный диаметр 400 мм; толщины стенки детали 8 мм

При отработке процессов взрывного плакирования были изготовлены многослойные изделия (рис. 9). Многослойная труба (рис. 9, а) изготавливалась в следующей последовательности: сварка+вальцовка+калибровка. Длина 1,5 м. Допуск на диаметр 0,5 мм.



а



б

Рис. 9. Многослойные изделия, изготовленные взрывным плакированием

На рис. 9, б показано сферическое доньшко баллона высокого давления (до 40 МПа) диаметром 120 мм и толщиной 1 мм из трех слоев стали ВНС-17.

На рис. 10 показаны упрочненные изделия, у которых предел прочности на изгиб больше нормативной на 40...45 % при заданной твердости.

Все эти исследования, начиная с 2000 г., способствовали созданию комбинированных технологий импульсной металлообработки и получения материалов с объемной нано- и субмикроструктурной структурой.

Комбинированные технологии по технико-экономическим показателям и эксплуатационным характеристикам получаемых изделий существенно превосходят отдельно взятые. Совмещение операций штамповки и сварки взрывом, помимо многократного повышения производительности процесса формоизменения и снижения производственных затрат существенно влияют на формоизменение слоистых композиционных материалов. Кроме того, при таком совмещении существенно возрастают показатели пластичности материалов композиции и предельные возможности процесса формоизменения. При таких условиях инициируются процессы формирования наноструктур в зоне соединения. Это существенно повышает

баллистическую стойкость, износостойкость, долговечность и эксплуатационную надежность изделия в многослойном исполнении.



Рис. 10. Внешний вид изделий из твердых сплавов с упрочнением после первичного спекания

Перестройка в Советском Союзе открыла широкие возможности сотрудничества коллектива ПНИЛ с зарубежными странами. В эти годы делегация сотрудников ХАИ посетила Кубу и по просьбе кубинского руководства помогла организации взрывного полигона для производства днищ, используемых при переработке сахарного тростника (канд. техн. наук С. Н. Солодянкин).

ХАИ вступил в Ассоциацию сотрудничества с зарубежными странами (г. Москва) и начался обмен опытом и сотрудничество при реализации совместных проектов, использующих достижения взрывной обработки материалов (рис. 11). Институт, его взрывной полигон и исследовательские лаборатории посещали многочисленные делегации из США (руководитель одной из трех «фабрик взрывов»), Германии, Франции.



а



б

Рис. 11. Посещение в 1991 г. взрывного полигона ХАИ (а): слева направо (б) – два технических руководителя Ассоциации, ст. науч. сотрудник Тараненко М. Е., д-р техн. наук Борисевич В. К. и нач. полигона Воронин В. Н.

Были разработаны планы оснащения существующей сети телевизионных станций «Орбита» антеннами космической связи, для которых зеркала антенн должны были изготавливаться в ПНИЛ ХАИ. Были намечены планы и согласованы хоздоговоры оснащения

НИЦ «АвтоВАЗа» электрогидравлическим прессом и технологией штамповки автокузовных панелей. Началось создание взрывного полигона вне черты г. Харьков.

Но все эти планы рухнули под влиянием известных событий.

После обретения Украиной независимости государственное финансирование научно-исследовательских работ резко сократилось. ПНИЛ был преобразован в структуру НИЧ университета с хоздоговорным финансированием, которое постоянно сокращалось. В 1999 г. На базе НИО-1 был создан Международный НИИ новых технологий и материалов (МИНТ), руководителем которого был назначен проф. В. К. Борисевич. Его существование целиком зависело от заказов промышленных предприятий, поток которых, к сожалению, постоянно сокращался. Основными тематиками были:

– программное обеспечение расчетов технологических параметров взрывной штамповки, фундаментально-адаптивные и интеллектуальные технологии импульсной металлообработки;

– исследование возможностей получения плотноупакованных структур при взрывном нагружении;

– разработка технологий ЭГШ кузовных деталей украинских автобусов и специальных микроавтобусов и другой транспортной техники.

В дальнейшем части этих тематик продолжили свое технологическое развитие на отдельных кафедрах НАКУ «ХАИ» и других университетов.

Следующий очень чувствительный удар по исследованиям взрывной штамповки нанесло Постановление правительства Украины об ужесточении правил ведения взрывных работ.

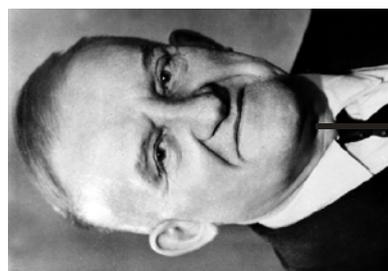
Научная школа импульсной обработки материалов, начало которой было заложено проф. Р. В. Пихтовниковым в самом начале 50-х годов прошлого века по состоянию на 2020 г., продолжает расти, развиваться и углубляться (рис. 12).

Появились новые направления развития, вызванные потребностями техники. Естественно, менялись цели и направления развития, менялись технологии исследований, последователи школы обосновались в разных странах.

Интересно проанализировать развитие реализации штамповки взрывом за 70 лет. От первых удачных способов получения простых донышек диаметром 100...200 мм и мечтах о полевом изготовлении крупногабаритных деталей на бетонной штамповой оснастке, до стабильного функционирования цехов взрывной штамповки с программами выпуска сложных по форме деталей до сотен тысяч в год. От опытных техпроцессов до безальтернативных технологических процессов, которые записываются в директивные технологические документы и передаются по всему миру. От поиска способа компактного расположения порошкообразного БВВ в воде до сложной системы зарядов, обеспечения заданного поля нагружения, а также и его управления в пространстве и времени. От ручного снаряжения технологической зоны до автоматических линий штамповки взрывом.

Следует отметить и еще одну особенность научной школы Р. В. Пихтовникова – это тесное и постоянное взаимодействие с другими научными школами обработчиков давлением. Здесь наиболее ярко проявляется взаимная поддержка научными школами ЛПИ, МАИ, МАТИ, а также ХПИ и ДГМА – нашими ближайшими соседями в современном мире Л. Н. Соколовым, В. А. Евстратовым, А. Я. Мовшовичем, В. К. Лобановым, Л. Л. Рогановым, А. М. Сатониным (к сожалению, ныне покойными), И. С. Алиевым, А. Н. Тарасовым, Без их дружеской поддержки и конструктивной критики, было бы значительно труднее двигаться вперед.

Трудно определить критерий оценивания степени развития направлений – по полученному экономическому эффекту, числу научных публикаций или защищенных диссертаций? Главное – доказанная временем значимость и жизнеспособность научной школы ОМД ХАИ.



Направления развития технологий

Импульсная листовая штамповка

Обработка ударом
твердого тела

Объемная штамповка

Пихтовников Р.В.
Д.Т.Н. 1907-1972 г.

Черепеников Б.А.
к.т.н., газов.
взрыв для ЛШ

(**Сухов В.В.**
Д.Т.Н., газов.
штамповка ЛШ
.....)

Мацукин Ю.Г.
к.т.н.,
пресс-пушка

(**Брагин А.П.**
Крыжный Г.К.
.....)

Чебанов Ю.И.
к.т.н., ЭГШ

Тараненко М.Е.
Д.Т.Н., управление
нагружением по
осям X, Y и времени
(**Антоненко А.А.**
Жердев Н.С.
Войтків С.В.
.....)

(**Шипилов Ю.В.**
Князев М.К.
.....)

Кривцов В.С.
Д.Т.Н., ИМП.
технологичн.
системы

(**Зайцев В.Е.**
Д.Т.Н.
технол. сист.
пресс-пушек
.....)

Вовк В.Т.
Д.Т.Н.,
уплотнение
газовым
взрывом

Борисевич В.К.
Д.Т.Н. 1926-2013 г.

Бычков С.А.
Д.Т.Н.,
пресс-пушка

Сабелькин В.П.
Д.Т.Н., штамповка
взрывом с нагревом

Драгобецкий В.В.
Д.Т.Н., сварка и комб.
процес. при взрыве.

(**Троцко О.В.**
Пирогов Д.Л.
Савченко Ю.В.
.....)

Фролов Е.А.
Д.Т.Н., газов. штамп.
крупногабаритных
деталей

(.....)



Конonenko В.Г.
Д.Т.Н. 1920-1983 г.

Кушнаренко С.Г.
к.т.н., иссл. и внедрение
машины "МИР"

Божко В.П.
Д.Т.Н., термо-имп.
обработка
поверхностей

Лимберг Э.А.
Д.Т.Н., применен.
R-функц. при
ТП и МИОМ

(**Застела А.Н.**
Лозенко Н.А.
Суховирский В.П.
Пищицкий С.Д.
.....)

Боташев А.Ю.
Д.Т.Н., энергопривод.
имп. машины
для лист. штамп.

(**Мусаев А.А.**
Бисилов Н.У.
Малсугенов Р.С.
Байрамуков Р.А.
.....)



Алексеев Ю.Н.
Д.Т.Н. 1924-1985 г.

Долматов А.И.
Д.Т.Н., Вакуум.
штамп., термо-
имп. напыление

Титов В.А.
Д.Т.Н., соверш.
процессов ОМД

Тришевский О.И.
Д.Т.Н., листовая
прокатка

Свидерский В.П.
Д.Т.Н., раскатка

(.....)

Рисунок 12 - Упрощенная структура научной школы импульсной ОМД ХАИ по состоянию на 2020 г.
(всего более 50 д. т. н. и свыше 200 к. т. н.)

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. Москва : Машиностроение, 1964. 175 с.

Алексеев Ю. Н. Вопросы пластического деформирования. Харьков : Изд-во Харьк. гос. ун-та им. А. М. Горького, 1958. 188 с.

Алексеев Ю. Н. Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием. Харьков : Изд-во Хар. ун-та. 1969. 108 с.

Пихтовников Р. В. Безбассейновая листовая штамповка взрывом. Харьков : Прапор, 1972. 168 с.

Кононенко В. Г. Высокоскоростное формоизменение и разрушение металлов. Харьков : Вища школа. 1980. 232 с.

В. С. Кривцов, А. Ю. Боташев, А. Н. Застела, С. А. Мазниченко, С. И. Планковский и В. Н. Сапрыкин Импульсная резка горячего металла. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2005. 476 с.

В. А. Тітов, Ю. Є. Шарін, А. І. Долматов, В. К. Борисевич, В. О. Маковей, В. М. Алексеєнко. Високошвидкісні методи обробки металів тиском : підручник. Київ : КВЦ, 2020. 304 с. ISBN 978-966-2003-58-8.

Тараненко М. Е. Электрогидравлическая штамповка : теория, оборудование, техпроцессы : монография : в 2 ч. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2011. 273 с.

Профессор Пихтовников Ростислав Вячеславович : биобиблиогр. указ. сост. : Н. М. Ткаченко, И. В. Олейник, К. М. Ямпольская. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2019. 96 с. ISBN 978-966-662-674-8

Профессор Владимир Карпович Борисевич : биобиблиогр. указ. сост. : К. М. Ямпольская, В. С. Гресь, И. В. Олейник, В. Н. Новичкова ; под. ред. Н. М. Ткаченко ; вступ. ст. А. В. Долматова. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. 100 с. ISBN 978-966-662-387-7

Взрыв-созидатель (к 100-летию Р. В. Пихтовникова). МИНТ, 2007. 32 с.

Науково-освітні школи Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" : монографія / М. Ф. Бабаков, О. О. Баранов, І. В. Бичков, Н. Л. Більчук и др. ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т" ; за заг. ред. М. В. Нечипорука. Харьков, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2020. 400 с. ISBN 978-966-662-726-4.

Кривцов В. С., Борисевич В. К. Состояние и перспективы применения импульсных источников энергии для технологических процессов обработки материалов. *Авиационно-космическая техника и технологии*. Сб. научн. трудов. Харьков : НАКУ «ХАИ», 2007. № 11(47). С. 10–17.



В. В. Драгобецкий – заслуженный деятель науки и техники Украины, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. технологии машиностроения, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского (г. Кременчуг)



М. Е. Тараненко – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. автомобилей и транспортной инфраструктуры, Национальный аэрокосмический университет им. М. Е. Жуковского (г. Харьков)