

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ СРЕДСТВ МЕДИЦИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ МЕТОДОМ МАГНИТОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

<sup>1</sup>А.В. Кебец, <sup>1</sup>Ю.И. Кривонос, <sup>1</sup>Т.Ю. Бучик, <sup>1</sup>С.С. Дубенец, <sup>2</sup>И.В. Холопица

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

<sup>2</sup>Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр  
г. Минск, Республика Беларусь

*Разработаны и внедрены процессы магнитоимпульсной штамповки и сборки деталей и узлов средств реабилитации инвалидов: тростей тактильных, протезов голени, деталей инвалидных колясок и др. Организован заводской участок магнитоимпульсной обработки материалов (МИОМ). Введен в эксплуатацию магнитоимпульсный пресс энергоемкостью 10 кДж.*

**Ключевые слова:** магнитное поле, импульс, штамповка, сборка

## MANUFACTURING OF MEANS OF MEDICAL REHABILITATION WITH THE METHOD OF MAGNETIC PULSE PROCESSING OF MATERIALS

<sup>1</sup>A.V. Kebets, <sup>1</sup>Y.I. Krivonos, <sup>1</sup>T.Y. Buchik, <sup>1</sup>S.S. Dubenets, <sup>2</sup>I.V. Holopitsa

<sup>1</sup>Physical-technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian Prosthetic and Orthopedic Restorative Center  
Minsk, Republic of Belarus

*The processes of magneto-impulse stamping and assembly of parts and assemblies for the rehabilitation of the disabled are developed and introduced: tactile canes, shin prostheses, parts of wheelchairs, and others. A plant site for magnetic pulse processing of material (MPPM) is organized. A magnetic pulse press with an energy capacity of 10 kJ was put into operation.*

**Keywords:** magnetic field, impulse, stamping, assembly

**E-mail:** jury\_kriv@mail.ru

### Введение

В ряду проблем реабилитации инвалидов стоит их обеспечение современными устройствами, позволяющими сделать максимально комфортабельными условия жизни.

В настоящее время основной объем ортопедических протезов приходится закупать в странах ближнего и дальнего зарубежья. Высокие цены на протезы импортного производства делают их недоступными для инвалидов с недостаточно высоким уровнем доходов.

В связи с этим стояли задачи разработки и организации собственного производства импортозамещающих отечественных значительно более дешевых аналогов для оснащения клинических учреждений необходимыми приборами и механизмами, выполненными на современном техническом уровне.

### **Методы и оборудование**

Метод магнитоимпульсной обработки материалов (МИОМ) является одним из методов листовой штамповки и сборки изделий, и базируется на электрофизических эффектах непосредственного преобразования электрической энергии в силовое воздействие на металлические материалы с целью придания им определенной формы. [1,2,3].

Использование при МИОМ только пуансона или матрицы для штамповки листовых заготовок и оправки или матрицы для штамповки трубчатых заготовок вместо традиционного комплекта штампового инструмента из массивных стальных плит, направляющих колонок и втулок, пуансона с матрицей, подогнанных друг к другу с определенным зазором, позволяет в десятки раз снижать металлоемкость оснастки, трудоемкость ее проектирования и изготовления, уменьшить затраты на эксплуатацию и ремонт.

Использование для формообразующего инструмента дешевых материалов (малоуглеродистой стали, текстолита, дерева, пластмассы, цемента и др.) при единичном и мелкосерийном производстве дает значительную экономию инструментальной стали.

Кроме снижения капитальных затрат на инструментальное оснащение МИОМ по сравнению с традиционной технологией имеет ряд существенных преимуществ, таких, как возможность совмещать большее число штамповочных операций за один рабочий цикл магнитоимпульсного пресса (МИП), сократить число формообразующих переходов за счет более равномерной деформации заготовки, повысить прочностные характеристики, качество поверхности и класс точности размеров изделия, устранить появление заусенцев при выполнении разделительных операций на тонколистовых заготовках, снизить массу изделий.

В отличие от традиционных методов штамповки на прессовом оборудовании МИОМ обладает следующими техническими особенностями:

- скорость деформирования может достигать 200 м/с;
- давление на заготовку – до 300 МПа с длительностью импульса от 10 до 1000 мкс;
- точность дозировки давления и стабильность в процессе работы;
- возможность совмещать в одном рабочем цикле несколько формообразующих операций: вырубка-пробивка, вырубка-вытяжка, развальцовка-сборка и др.;
- повышение степени и равномерности деформации на 20–30 %;
- увеличение последеформационной прочности металла до 30 %;
- технологическая гибкость метода, выражающаяся в скорости переналадки оборудования и оснастки при переходе на изготовление новых изделий.

Магнитоимпульсная сборка позволяет получить качественное закрепление металлической арматуры на металле, керамике, стекле, резине и пластмассе, выполнить соединения различного вида и назначения – неразъемные, разъемные ниппельные,

резьбовые, подвижные телескопические, шарнирные, герметичные и прочно-плотные.

Все освоенные техпроцессы осуществляли на разработанном прессе МИП 10/12.

Технические характеристики прессы:

- диапазон энергий, запасаемых конденсаторной батареей – от 1,2 до 10 кДж;
- диапазон напряжений заряда – от 4 до 11,5 кВ;
- емкость накопителя – 150 мкФ;
- собственная частота разряда прессы – не менее 25 кГц;
- напряжение сети электропитания – 220 В;
- частота электросети – 50 Гц;
- средняя потребляемая мощность – не более 10 кВт.

Фундамент под пресс не требуется, устанавливается на пол цеха.

Пресс включает в себя генератор импульсного тока (ГИТ), состоящий из емкостного накопителя электрической энергии – высоковольтной конденсаторной батареи, зарядного устройства, а так же высоковольтного «управляемого» разрядника, с помощью которого производится разряд конденсаторной батареи на рабочий орган – индуктор.

Магнитоимпульсный пресс МИП 10/12 рассчитан на эксплуатацию в закрытом отапливаемом вентилируемом производственном помещении, в воздушной среде которого не содержатся агрессивные пары и газы, токопроводящая пыль и исключена возможность образования взрывоопасных смесей.

Опыт использования магнитоимпульсных прессов в мелкосерийном многономенклатурном производстве показал, что экономия затрат при замене штампов (средняя стоимость комбинированного штампа составляет 1000 у.е.) на формообразующий инструмент МИОМ (средняя стоимость единицы оснастки 200 у.е.) при освоении 50 наименований изделий может составить  $50 \times 1000 - 50 \times 200 = 40\,000$  у.е.

Учитывая характер протезного производства на Белорусском протезно-ортопедическом восстановительном центре (БПОВЦ) от индивидуально-единичного до серийного, использование ряда перечисленных особенностей и преимуществ МИОМ представляется весьма перспективным.

### **Результаты исследований**

В процессе выполнения работы была определена номенклатура изделий технических средств реабилитации, получение которых возможно по технологии МИОМ, разработаны и исследованы процессы формообразования и сборки, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы, оформлены ТД и КД на опытные техпроцессы и технологическое оснащение, изготовлена технологическая оснастка, получены опытные партии деталей и узлов для испытаний, изготовлен и введен в эксплуатацию магнитоимпульсный пресс МИП-10 и организован производственный участок МИОМ на БПОВЦ.

В качестве объектов исследования и опытного освоения были выбраны узлы и детали, состоящие из трубчатых алюминиевых заготовок тактильной трости №ЦСИЕ 03.436 (8 типоразмеров), стяжки эластичной №ЦСИЕ 03.436.01, модуля голени №ЦСИЕ 04.093.01 (6 типоразмеров), стяжки инвалидной коляски №ЦСИЕ 03.481.01.01 (4 типоразмера).

В соответствии с конструкцией разъемной тактильной трости №ЦСИЕ 03.436, звенья которой соединяются в цельную трость с помощью конических законцовок (рис. 1), наружный и внутренний конус формовался путем обжима трубки на жесткие

оправки с одинаковыми углами конусности. Соотношение длины законцовки к диаметру трубки составляло не менее 2:1. В собранном состоянии трость удерживается с помощью стяжки эластичной.

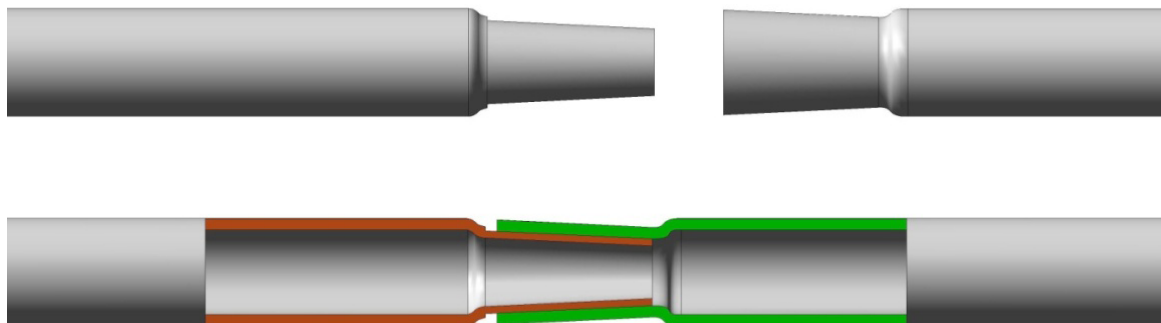


Рис. 1. Разъемное соединение звеньев тактильной трости №ЦСИЕ 03.436

Сборку деталей стяжки эластичной №ЦСИЕ 03.436.01 выполняли по схеме обжима алюминиевой трубки  $\text{Ø}8 \times 1$  мм (наконечника), установленной в месте соединения шнура эластичного со стальной петлей (рис. 2). Опрессовка импульсным магнитным полем выдерживала усилие натяжения шнура не менее 100 Н.

Стяжка эластичная устанавливается внутри звеньев трости тактильной, обеспечивая удержание конструкции в собранном состоянии при ее использовании, а также разборку и укладку в чехол усилием рук.

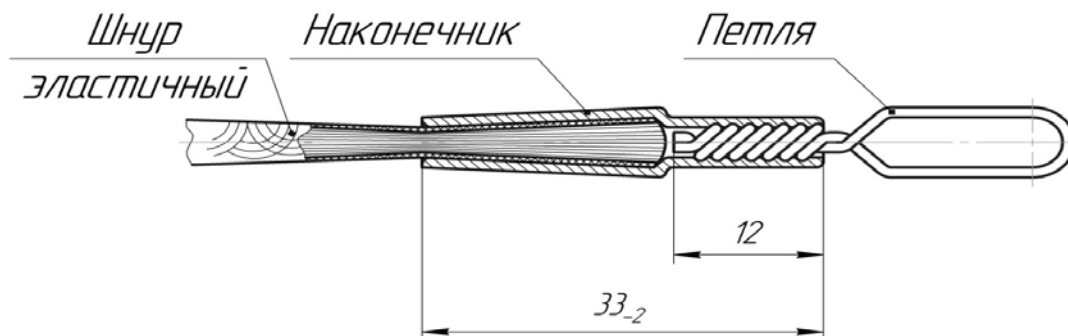


Рис. 2. Сборочная операция стяжки №ЦСИЕ 03.436.01.

Стяжку инвалидной коляски №ЦСИЕ 03.481.01.01 выполняли двумя способами:

- со стальной резьбовой вставкой (рис. 3) – обжимом концов трубки  $\text{Ø}30 \times 2,5$  мм на вставку  $\text{Ø}25$  мм без предварительной расточки трубы на  $\text{Ø} 7$  мм и без последующей запрессовки и завальцовки вставки;

- без использования стальной резьбовой вставки (рис. 4) – путем редуцирования концов трубки  $\text{Ø}30 \times 2,5$  мм обжимом импульсным магнитным полем на стальную цилиндрическую оправку диаметром под резьбу М 20.



Рис. 3. Образец стяжки инвалидной коляски №ЦСИЕ 03.481.01.01 с запрессованной стальной вставкой



Рис. 4. Образец стяжки инвалидной коляски №ЦСИЕ 03.481.01.01 без запрессованной стальной вставки

Аналогично обжимом импульсным магнитным полем трубчатой заготовки  $\varnothing 18 \times 1,5$  мм на торцевые заглушки осуществляли сборку узла инвалидной коляски «распорка» (ОПИ–52.20), что значительно повышает прочность соединения.

Была освоена сборка модуля протеза голени №ЦСИЕ 04.093.01 по схеме раздачи участка трубки  $\varnothing 30$  мм, вставляемой в расточенное конусное отверстие в щиколотке (рис. 5).

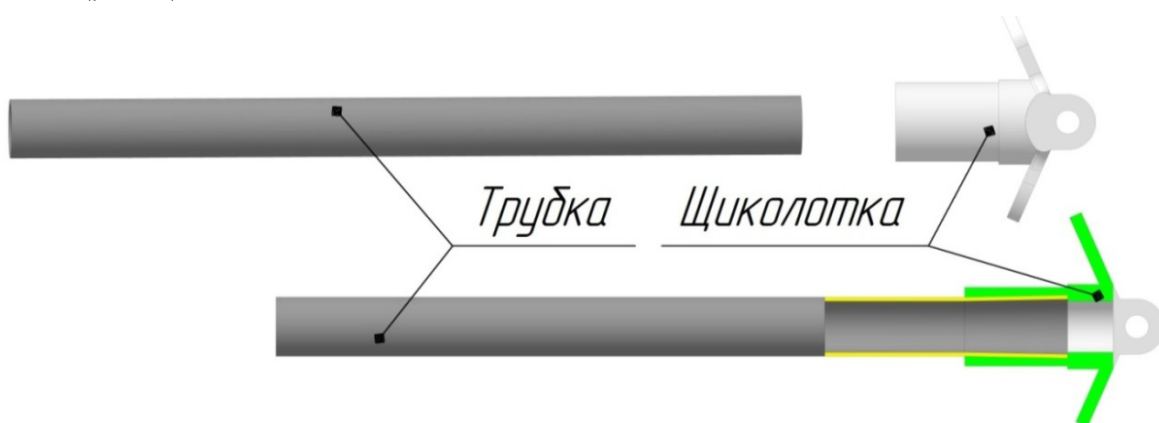


Рис. 5. Сборочная операция модуля голени №ЦСИЕ 04.093.01

По результатам исследований было установлено:

1) качественный обжим без потери устойчивости и образования продольных складок при максимальной степени деформации получается при соотношении диаметра трубки к толщине стенки равного  $\leq 10$ ;

2) обжим на жесткую оправку позволяет получить качественную внутреннюю конусную поверхность трубы точностью по 3–5 классу;

3) для обеспечения съема трубчатой заготовки с оправки необходимо обеспечить конусность оправки  $0,6-1^\circ$  в деформированной зоне образца;

4) внешняя поверхность и отклонение от цилиндричности ( $\pm 0,2$  мм) обжатого на внешний конус участка трубчатого образца требует механической чистовой (токарной) обработки для получения конусности с углом равным внутреннему углу сопрягаемой конусности;

5) выбранный диапазон энергии разряда магнитоимпульсного пресса до 10 кДж обеспечивает выполнение операций обжима и раздачи трубчатых заготовок, используемых в выбранных изделиях.

По значениям частоты разряда и глубины проникновения поля был сделан вывод о предпочтении использования пресса энергоемкостью 10 кДж, как обладающего большим к.п.д. при использовании многовитковых индукторов.

Источником импульсного магнитного поля является индуктор, через который пропускается мощный импульс электрического тока.

В рабочей зоне индуктора импульсное магнитное поле наводит в находящейся в нем металлической заготовке вихревые токи. В результате взаимодействия токов индуктора и заготовки возникают мощные механические усилия, оказывающие высокое давление, как на заготовку, так и на индуктор. Под действием давления деталь (заготовка) перемещается с высокой скоростью (от 10 до 300 м/с) от индуктора в сторону технологического инструмента, с помощью которого ей придаётся заданная форма.

### **Заключение**

Разработан магнитоимпульсный пресс МИП10/12. Введен в эксплуатацию участок МИОМ в БПОВЦ, что послужило освоению на предприятии наукоемкой и экологически чистой технологии изготовления технических средств реабилитации, в том числе 8 типоразмеров разборных тактильных тростей оригинальной конструкции, сборочных узлов инвалидных колясок и ортопедических протезов.

Показано, что изготовление деталей по технологии МИОМ позволяет:

- облегчить конструкцию сборки, уменьшить количество элементов в соединительном узле;
- снизить трудоемкость, энергоемкость и потребность в расходных материалах (сварочные электроды, припои, заклепки, герметики, клей и т.д.);
- повысить прочность соединения за счет последедеформационного упрочнения, малого пружинения и термонатяга между сопрягаемыми деталями;
- обеспечить высокую стерильность процесса сборки ввиду отсутствия контакта инструмента с деталями сборки;
- сохранить исходное состояние поверхности деталей (чистоту обработки, разнообразные покрытия).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Зимин, Ю.А. К вопросу стратегии развития и совершенствования кузнечно-прессового оборудования в России / Ю.А. Зимин // Кузнечно-штамповочное производство. 2000, №5. – С. 18-23.
2. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый [и др.]. – Харьков: Вища школа, 1977. – 168 с.
3. Кривonos, Ю.И. Обработка металлов давлением импульсным магнитным полем в разработках ФТИ НАН Беларуси / Ю.И. Кривonos // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением/ редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. С. 69–76.

### **REFERENCES**

1. Zimin Y.A. K voprosu strategii razvitiya i sovershenstvovaniya kuznechno-pressovogo oborudovaniya v Rossii [Development and perfection strategy of press-forging plants in Russia] // Press-forging. 2000, №5, pp. 18–23. (in Russian)
2. I.V. Bely and others Spravochnik po magnitno-impul'snoj obrabotke metallov [Reference book on magnetic-pulse treatment of metals]. Kharkov. "Vishcha shkola", 1977, 168 p. (in Russian)
3. Krivonos Y. I. Obrabotka metallov davleniem impul'snym magnitnym polem v razrabotkah FTI NAN Belarusi [Metal forming with pulsed magnetic field in developments of PHTI NAS of Belarus] / Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]. Collection of scientific papers, Minsk, FTI NAN Belarusi [PTI NAS Belarus], A.V. Byeli (ed.), 2017, vol. 3, pp. 69–76. (in Russian)

*Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 05.06.18*