

## Об опыте прессования листового металла на упругой подложке

Славгородская Александра Владимировна, к.т.н., alexandri-s@yandex.ru

Терещенко Игорь Витальевич, мастер производственного обучения <sup>1</sup>, tereschenkoiv@msun.ru

Молоков Константин Александрович <sup>2,3</sup>, к.т.н., spektrum011277@gmail.com

<sup>1</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

<sup>3</sup> Владивостокский государственный университет, г. Владивосток

*В работе приводится описание способа прессования медного и латунного листов на упругой подложке с целью получения оттиска трехмерной компьютерной модели с помощью дюралюминиевой матрицы–пуансона выполненной на фрезервальном станке с числовым программным управлением. Представлены преимущества полученного опыта по сравнению с другими традиционными способами изготовления тонкостенных профильных элементов.*

**Ключевые слова:** пресс-форма, прессование на упругой подложке, сплав Д16Т, штамповка, штампованные детали, пуансон, фторопласт

## On the experience of pressing sheet metal on an elastic substrate

Slavgorodskaya Alexandra Vladimirovna, PhD, alexandri-s@yandex.ru

Tereshchenko Igor Vitalievich, master of industrial training <sup>1</sup>, tereschenkoiv@msun.ru

Molokov Konstantin Alexandrovich <sup>2,3</sup>, PhD, spektrum011277@gmail.com

<sup>1</sup> Maritime State University named after Adm. G.I. Nevelskoy, Vladivostok

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>3</sup> Vladivostok State University, Vladivostok

*The paper describes a method for pressing copper and brass sheets on an elastic substrate in order to obtain an imprint three-dimensional computer model using a duralumin matrix-punch made on a milling machine with numerical control. The advantages of the experience gained in comparison with other traditional methods of manufacturing thin-walled profile elements are presented.*

**Keywords:** press form, pressing on an elastic substrate, D16T alloy, stamping, stamped parts, punch, fluoroplastic.

## Введение

В МГУ им. адм. Г.И. Невельского существует научно-образовательный технологический центр судостроения и судоремонта (НОТЦ СС). На его основе внедряются цифровые технологии судоремонта. Возможности компьютерной графики позволяют спроектировать модель и вывести ее на 3D печать в формате «stl». Эта трехмерная модель может быть из различных материалов, в том числе возможна и резьба по дереву, она может быть выполнена на фрезеровальном станке с числовым программным управлением (ЧПУ) (рис. 1).



Рисунок 1 – Деревянное панно, выполненное на фрезеровальном станке с ЧПУ (трехмерная модель от интернет маркета AliExpress)

Программа ArtCAM Express позволяет моделировать и обрабатывать 2D и 3D модели . Это система начального уровня, и поэтому идеально подходит для неопытных начинающих пользователей имеющих минимум знаний об обработке . Интерфейс этой программы разработан так, чтобы последовательно охватить весь процесс от разработки эскиза до получения законченного изделия или штампа. ArtCAM Express позволяет делать гравировку, обработку металлов, резьбу по дереву и многое другое. Например, выполнить пресс форму (матрицу-пуансон) (рис. 2).

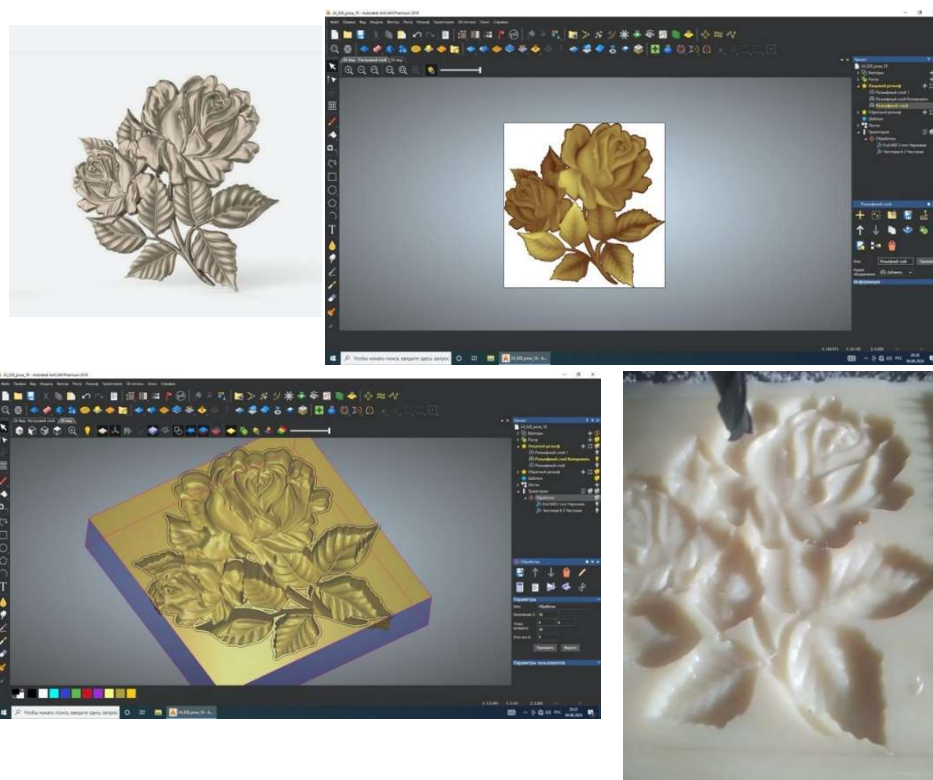


Рисунок 2 – Разработка от рельефного рисунка будущего изделия в программе ArtCAM до изготовления опытной модели пуансона из фторопласта на фрезерном станке с ЧПУ

Цель настоящей статьи это обобщение опыта полученного при изготовлении рельефного оттиска на листах латуни и отожжённой меди толщиной соответственно 0,25 и 0,4 мм односторонним прессованием матрицей–пуансоном из дюралюминиевой плиты марки сплава Д16Т, изготовленной с помощью фрезерного станка. Станок ЧПУ CNC-3658AS предназначен для выполнения широкого спектра работ по пластику, древесине, текстолиту, цветному и черному металлу с высокой точностью [10].

### **Технологии штамповки, достоинства и недостатки**

Сжатие любого конструкционного материала как способ уплотнения структуры приводит как правило к упрочнению и сегодня все чаще при обработке металла используется прессование металла в производстве изделий штамповкой [1].

Обработка материалов давлением позволяет придать заготовке необходимую форму, а именно выдавливать определенный рельеф, узоры или пробивают отверстия практически не требуя снятия стружки и главным достоинством данного способа это экономичность, производительность и высокий коэффициент выхода годного продукта. Эта технология позволят изготавливать детали различных форм, чьи размеры варьируются от миллиметра до нескольких метров [7].

Технологический процесс прессования в зависимости от направления сжимающих усилий представляет собой сложное напряженно деформируемое состояние практически нелинейное сопровождающееся очагами концентрации напряжений в углах форм, неравномерным распределением сил трения на зависящих от качества поверхности и прочностных свойств пуансона и матрицы, со смазкой или без, температурного режима и скорости нагружения.

Различают методы прямого и обратного прессования, с помощью валков, ударного или даже взрывного способа в гидравлической ванне.

Сегодня в производстве чаще всего используется прессование листового металла кристаллическая структура которого улучшена предварительным прокатом в отличие от отливок более однородна, к тому же эффект всестороннего сжатия который возникает в тонком листе при обжатии позволяет избежать роста трещин и появления сколов за счет сил трения в данном случае как раз способствующих исключению отрывающих усилий.

Так при небольшой толщине листа меди или латуни  $< 0,4$  мм при условии его отжига мы использовали метод прямого прессования на упругой резиновой подложке, которая обеспечивает мягкое вытягивание профиля и позволяет создавать изображение на металле практически идентичное ручной чеканке.

В НОТЦ СС МГУ им. адм. Г.И. Невельского (директор Максимов Денис Сергеевич) имеется современное оборудование позволяющее освоить новые принципы судоремонта в частности изготовить матрицу пуансон для штампования изделий из листового металла, например прокладок и других профильных элементов в том числе, декоративных элементов.

*Плита  $100 \times 100 \times 18$  мм. Дюраль-полуфабрикаты Д16АТ, Д16АМ и Д16Т* изготавливаются из деформируемого алюминиевого сплава марки Д16. Главные преимущества сплава Д16 заключается в том, что получаемый из него металлопрокат обладает высокими прочностными характеристиками, а его удельный вес в 3 раза меньше чем у стали, к тому же он обладает хорошей механической обрабатываемостью на токарном и фрезерном станках. Требования к химическому составу данного сплава установлены ГОСТ 4794-87. Содержание алюминия в сплаве Д16Т составляет 90,90-94,70%, меди -3,80-4,90%, магния-1,20-1,80%. Плотность сплава-  $2,77 \text{ кг/дм}^3$  (рис. 3).

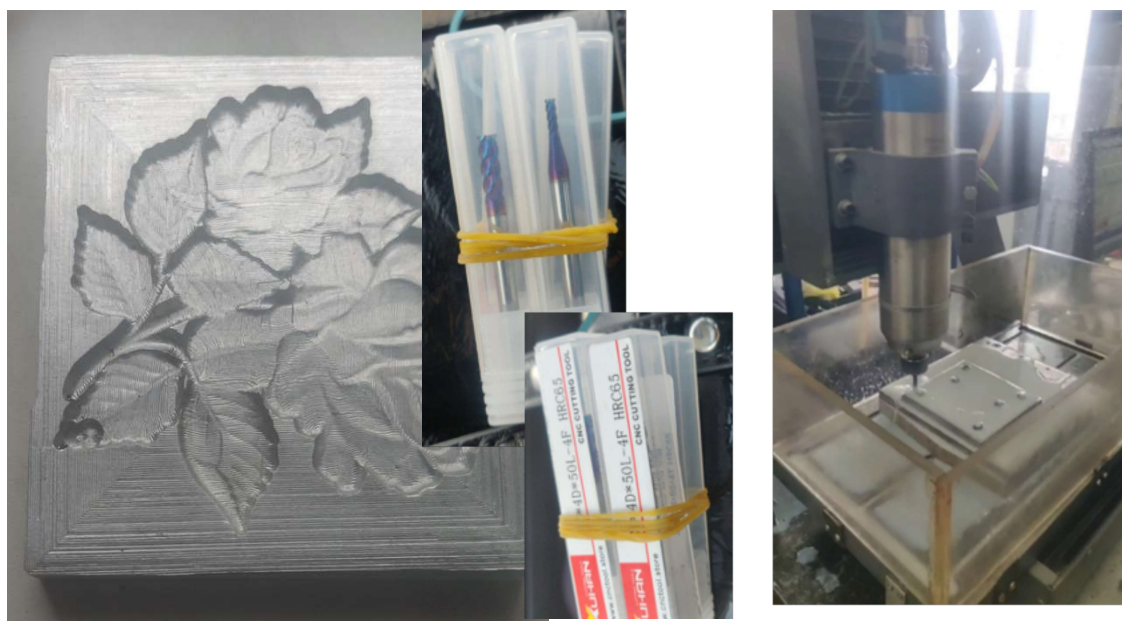


Рисунок 3 – Станок осевой фрезерный с ЧПУ по металлу и изготовленная матрица из дюралюминия Д16Т  $100 \times 100 \times 10$  мм, фрезы концевые твердосплавные 65 HRC

Д16Т алюминиевый сплав, который обладает стабильной структурой, малым весом, хорошей прочностью, обрабатываемостью и сопротивляемостью к микроскопической деформации. Относится к сплавам Al-Cu-Mg (алюминий, медь, магний) и легируется марганцем. Маркировка Д16Т позволяет получить информацию об основных свойствах: Д-дюраль, 16-порядковый номер сплава, Т-закалённый, термически упрочненный и естественно состаренный (что отличает его от обычного Д16). За счет такого набора характеристик материал активно используется в корабле-, самолетостроении и даже ракетостроении. Как и любой

сплав, дюралюминий имеет сильные и слабые стороны.

Среди основных преимуществ этого сплава стоит выделить:

- гибкость и пластичность;
- механическую прочность в результате термоупрочнения;
- разнообразие видов обработки;
- широкий сортамент изготавливаемого проката;
- малый удельный вес.

К незначительным минусам следует отнести:

- небольшую подверженность ржавлению.[8].

Фрезы концевые твердосплавные HRC65 для фрезерного станка по металлу с ЧПУ (CNC) изготовлены из монокристаллического твердого сплава (карбид вольфрама WC с добавлением кобальта). Фреза с 4 зубьями и острыми режущими кромками специальной геометрии для увеличенной эффективности, подходит как для черновой, так и для чистовой обработки металла. Количество зубьев определяет количество канавок. Глубокие и спиралевидные канавки в инструменте обеспечивают образование и удаление стружки. Рабочая поверхность фрезы имеет современное нано покрытие на кремниевой основе (Nano blue). Это покрытие обладает высокой жаростойкостью и твердостью, тем самым подходит для обработки закаленных сталей от 50 до 70 HRC без использования эмульсии. Покрытие наносится на фрезу посредством распыления. Угол наклона спирали  $45^\circ$ . Установка канавок под углом позволяет зубу постепенно входить в материал, в результате уменьшается вибрация. Как правило, чистовые фрезы имеют более высокий угол наклона (более плотную спираль) для получения лучшей отделки. Фреза с плоским торцом служит для обработки плоскостей, пазов, фасонных поверхностей, а также для раскроя, выборки. Высокоточный режущий инструмент отличается высоким сроком службы и простотой в эксплуатации. Фреза является универсальной ее можно использовать для широкого спектра материалов, таких как углеродистая и нержавеющая сталь, чугун, медь закаленная и высокопрочная сталь твердостью до 65 HRC [9].

Прессование на упругой подложке возможно при относительно небольшой нагрузке (достаточно 5 тонн для металла толщиной от 0,25 – 0,4 мм, и не больше 25 тонн для дерева толщиной 10 мм плиток размером 100x100 мм). Оно позволяет вытянуть металл пластическим деформированием без нарушения рельефного рисунка. Такое прессование не требует предварительного скашивания прямых углов матрицы. Практически в них происходит мягкое выравнивание формы за счет упругой подложки. Матрица пуансон не требует смазки так как силы трения на внутренней поверхности способствуют равномерному обжатию и создают эффект всестороннего сжатия препятствующего отрыву и разрушению листового материала в опасных сечениях. Полученный эффект имеет важное значение для материалов с дискретной структурой [2], например, плоских (тонких) деревянных образцов, расслоение которых также исключается сложной формой пуансона и для которых не рекомендуется (опять же из полученного опыта) упругая подложка в силу податливости волокнистой структуры (рис. 4) [3].



Рисунок 4 – Рабочая обстановка в процессе прессования на гидравлическом прессе (а) и рельефные оттиски на латунных, медных и деревянных образцах (б)

Аналогичная методика используется в ювелирной практике, когда одностороннее прессование рельефного изображения производится на свинцовой подложке забивающей углы и исключаяющей тем самым разрыва металла. Упругая подложка для прессования обладает много разовым использованием и позволяет применять для нее относительно менее прочный материал в отличие от соответствующих стандартам инструментальных 8А, У10А сталей (при напряжении сжатия 1600 МПа) и высоколегированных сталей марок Х12М, 9ХС и др. (при напряжении сжатия 1900 МПа [8]) так как подвергается небольшим нагрузкам до 5 тс (напряжение сжатия менее 50 кгс/см<sup>2</sup>) за счет податливости упругой подложки.

### Заключение

Возможность изготовления матрицы с помощью фрезерного оборудования с числовым программным управлением существенно расширит границы применения технологии прессования для изготовления мелкосерийных или отдельных уникальных деталей без организации промышленного производства (т.е. практически на уровне малого бизнеса в условиях ремонтного бокса и небольшого пресса мощностью до 5 т).

Ресурс упругой резиновой подложки в нашем случае толщиной 15 мм ограничен величиной сжимающей нагрузки, которая зависит от прочностных характеристик листового металла. Получаемый оттиск практически не требует дополнительной обработки, а именно шлифования, так как обладает, если можно так выразиться, естественной полировкой за счёт не только качественного рельефа матрицы (благодаря цифровым технологиям), но и сглаженных за счет мягкого выдавливания вытянутых углов и форм.

Авторы выражают благодарность Михайлову Владимиру Ильичу и Шевелеву Владиславу Константиновичу – мастерам производственного обучения НОТЦ СС МГУ им. адм. Г.И. Невельского за техническую помощь и консультирование в разработке технологии прессования на упругой подложке.

### Список литературы

1. Александров А.В. Сопротивление материалов. / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; под ред. А.В. Александрова. – 3-е изд. Испр. – М: Высш. Шк., 2003. – 560 с.
2. Оборин, В. А. Масштабно-инвариантные закономерности эволюции структуры и оценка надежности алюминиевых сплавов при последовательных динамических и усталостных

- нагружениях / В. А. Оборин, М. В. Банников, О. Б. Наймарк // Вестник Пермского государственного технического университета. Механика. – 2010. – № 2. – С. 87-97. – EDN NCXAVF.
3. Славгородская А.В., Андреев В.В. Исследование технологии модифицирования различных пород дерева прессованием для ее применения в создании художественных изделий // Молодежь и научно-технический прогресс: Материалы региональной научно-практической конференции. Научное электронное издание, Владивосток, май-июнь 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024.
  4. Славгородская А.В. Роль компьютерного дизайна в развития технологий энергосбережения и ответственного производства морской техники. Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: материалы региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, Владивосток, 28 декабря 2022 г. – 20 января 2023 г. /Под общ. Ред. Р.А. Полькова. – Владивосток : Изд-во Дальневост. Федерал. Ун-та, 2023. – 1 CD-ROM ; [724 с.]. – Загл. С титул. Экр. – ISBN 978-5-7444-5477-7. – DOI <https://doi.org/10.24866/7444-5477-7>.
  5. Славгородская А В. Подготовка изготовления литейной формы гребного винта с волнистыми лопастями. Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: материалы региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, Владивосток, 28 декабря 2022 г. – 20 января 2023 г. / под общ. Ред. Р.А. Полькова. – Владивосток: Изд-во Дальневост. Федерал. Ун-та, 2023. – 724 с. – ISBN 978-5-7444-5477-7.
  6. ГОСТ 16675-80 ТУ ОКП 399800 Пуансоны, матрицы, державки, подкладные плитки и шпонки штампов для разделительных операций.
  7. Все о современном прессовании металла // Металлообрабатывающая компания VT-METALL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3FRsDa> (дата обращения: 24.12.2024).
  8. Каталог металлопроката: сплав Д16Т // Компания «Фокс металл» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3FRsBn> (дата обращения: 24.12.2024).
  9. Фреза концевая твердосплавная HRC65 4 зуба 20\*45\*20\*100\*4F для фрезерного станка по металлу с ЧПУ (CNC) // Компания HYPOWER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3FRs7y> (дата обращения: 24.12.2024).
  10. Станки с ЧПУ Моделист российского производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3FRsHq> (дата обращения: 24.12.2024).

*Поступила в редакцию 12 ноября 2024 г.*