

УДК 519.68

Дата подачи статьи: 18.09.19

DOI: 10.15827/0236-235X.129.084-090

2020. Т. 33. № 1. С. 084–090

## **Программный модуль автоматизированного проектирования процесса обжима полых цилиндрических деталей**

*М.В. Овечкин*<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, [tahov-1@mail.ru](mailto:tahov-1@mail.ru)

*А.И. Сергеев*<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, [alexandr\\_sergeew@mail.ru](mailto:alexandr_sergeew@mail.ru)

*А.И. Сердюк*<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, директор, [sap@mail.osu.ru](mailto:sap@mail.osu.ru)

*А.В. Щеголев*<sup>2</sup>, к.т.н., генеральный директор, [office@mz-orisk.ru](mailto:office@mz-orisk.ru)

*М.В. Иванюк*<sup>2</sup>, главный инженер, [spectre\\_m@list.ru](mailto:spectre_m@list.ru)

*А.В. Кузьмин*<sup>2</sup>, зам. главного конструктора, [andrewkuzmin@yandex.ru](mailto:andrewkuzmin@yandex.ru)

<sup>1</sup> *Оренбургский государственный университет, Аэрокосмический институт, г. Оренбург, 460018, Россия*

<sup>2</sup> *Механический завод, г. Орск, Оренбургская обл., 462403, Россия*

Обработка металлов давлением широко используется в процессе изготовления изделий различного назначения. Для уменьшения поперечных размеров торцевой части полых тонкостенных цилиндрических деталей применяются операции обжима с помощью технологического инструмента обжимных матриц. Обжимом получают горловины цилиндрических бидонов, баллоны аэрозольной упаковки, различные переходники трубопроводов и другие изделия. Однако большие затраты на проведение опытных работ и изготовление опытных партий приводят к необходимости создания системы автоматизированного проектирования технологического процесса обжимных операций.

В статье приведена UML-диаграмма последовательности бизнес-процессов проектирования обжимных матриц. Целью настройки технологии производства продукции, несомненно, является получение такой последовательности, при которой информация об изделии будет с наименьшими затратами времени попадать в отдел работы с заказчиком без возврата на этап проектирования. Для этого, в частности, необходим быстрый и точный автоматизированный контроль на ключевых этапах производства. Авторами подробно описаны интерфейс и принцип действия программного модуля системы автоматизированного проектирования технологического процесса обжима. Приведены формулы расчета количества операций обжима, структура представления основных данных. Описан алгоритм, позволяющий гибко назначать параметры процессов деформаций и управлять прочностными характеристиками пооперационных полуфабрикатов. Разработанное ПО проектирования процесса обжима позволяет выполнять расчет таких параметров, как количество операций и пооперационные диаметры обжимных матриц.

Выходные данные программы могут быть использованы для моделирования в системах конечно-элементного анализа. Сделан вывод о том, что совместное применение разработанного ПО и систем конечно-элементного анализа позволит существенно уменьшить сроки и себестоимость продукции за счет сокращения времени, необходимого на проектирование процесса обжима, а также комплектов опытного технологического инструмента.

**Ключевые слова:** обжим, деформация, технологический процесс, полые цилиндрические изделия.

В современных условиях для получения продукции высокого качества необходимо компьютерное моделирование процессов изготовления изделий (полуфабрикатов), позволяющее оперативно и качественно определить значения технологических параметров, а также избежать временных и материальных затрат на изготовление определенного количества опытных изделий и полуфабрикатов.

В настоящее время компьютерное моделирование является неотъемлемым для таких наукоемких процессов, как холодная обработка металлов давлением, требующих деталь-

ных научно-производственных исследований и трудоемких расчетов.

Обработка металлов давлением позволяет максимально приблизить форму и размеры заготовок к форме и размерам изготавливаемой детали, что, в свою очередь, обеспечивает высокий коэффициент использования металла, снижение трудоемкости последующей обработки, например резанием, и, следовательно, уменьшение себестоимости продукции [1].

Достоинства процессов обработки металлов давлением обуславливают их широкое использование для выпуска продукции, применяемой

в машиностроительной, авиационной, автомобилестроительной и других отраслях промышленности.

### **Постановка задачи автоматизированного проектирования операций холодного обжима**

Обжим – прессовая технологическая операция, предназначенная для уменьшения с помощью обжимных матриц поперечного размера по боковой стенке полых цилиндрических деталей. Данная операция применяется для изготовления деталей типа горловин баттированных труб и проводится, как правило, с применением смазок.

В качестве разновидностей операции можно выделить обжим трубчатых сечений (редуцирование на ротационно-обжимных машинах) и обжим полых деталей, производимый вертикальным давлением на механических прессах [1].

При обжиге торцевая часть полуфабриката или трубной заготовки вдавливаются в воронкообразную рабочую часть матрицы, имеющую форму готового изделия или полуфабриката.

Если обжим производится в свободном состоянии, без противодействия снаружи и изнутри, пластически деформируется лишь часть полуфабриката, находящаяся в полости матрицы. Остальная часть деформируется упруго. Данным способом, в частности, получают горловины цилиндрических бидонов, баллоны аэрозольной упаковки, различные переходники трубопроводов.

Высокие затраты на проведение опытных работ и изготовление опытных партий приводят к необходимости создания специализированного программного модуля в рамках системы автоматизированного проектирования технологического процесса обжимных операций.

Промоделируем организационные процессы проектирования инструмента и изготовления деталей методом холодного обжима при помощи UML-диаграммы последовательности (interaction diagrams).

На UML-диаграмме [2] показаны экземпляры объектов и сообщения, которыми обмениваются объекты в рамках одного прецедента.

Типичный бизнес-процесс, включающий проектирование и изготовление инструмента, изготовление изделий и полуфабрикатов методом холодного обжима, имеет следующие компоненты (UML interaction actor): технологиче-

ский отдел, технолог, программные модули проектирования обжимных операций, КОМПАС-3D, цех, отдел работы с заказчиком.

Целью настройки технологии производства продукции, несомненно, является получение такой последовательности, при которой информация об изделии будет с наименьшими затратами времени попадать в отдел работы с заказчиком без возврата на этап проектирования.

Для этого, в частности, необходим быстрый и точный автоматизированный контроль на ключевых этапах производства.

Таким образом, объект в виде ПО, позволяющего автоматизировать процессы контроля и обработки результатов, является опциональным, но в то же время ключевым для общей модели организационно-производственных процессов.

UML-диаграмма последовательности проектирования изделий представлена на рисунке 1. Документация (в виде геометрических параметров и прочностных характеристик готового изделия) поступает в технологический отдел. Технолог составляет технологический процесс, руководствуясь исключительно собственным опытом либо прибегая к автоматизированному проектированию с использованием САПР и соответствующих программных модулей, в частности, модуля автоматизации проектирования операций обжима. По времени разница в подходах может быть существенной. Помимо временных рамок, прикладные пакеты автоматизации проектирования за счет более высокой точности расчетов позволяют уменьшить вероятность возврата документации (после выпуска полуфабрикатов) для внесения изменений в технологию производства. Возвраты на повторное проектирование технологического процесса и комплекта инструментов могут быть связаны с отличием геометрических либо прочностных характеристик полуфабриката от требуемых. В случае с операциями обжима такие отличия могут быть связаны с невозможностью предварительного моделирования на основе матриц, созданных без применения САПР или соответствующих модулей. Без средств автоматизированного проектирования весьма затруднительно производить расчет нескольких вариантов распределения диаметров матриц и деформаций по операциям, что также повышает вероятность отсутствия наиболее успешного варианта в числе рассчитанных вручную.

В настоящее время отсутствуют методики, программно реализующие автоматизацию про-

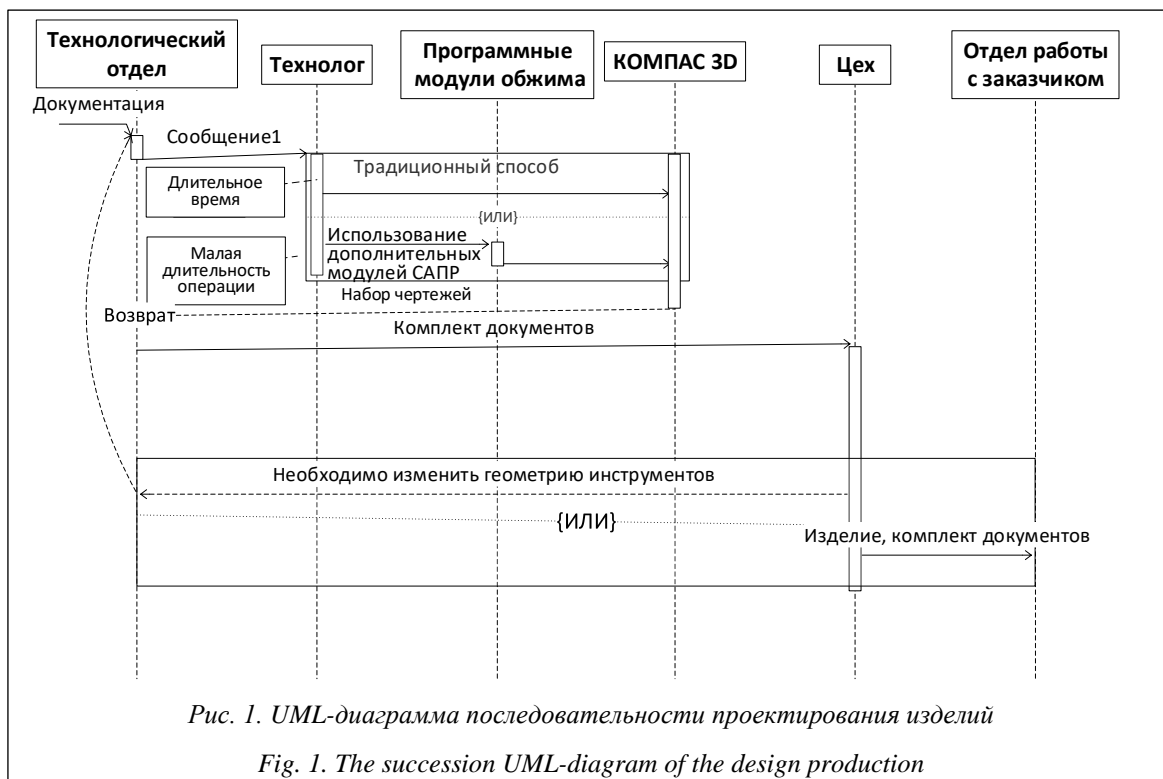


Рис. 1. UML-диаграмма последовательности проектирования изделий

Fig. 1. The succession UML-diagram of the design production

ектирования процесса обжима полых цилиндрических деталей. Имеются лишь обобщенные модули САПР для кузнечно-штампового производства (КОМПАС-Штамп, Штампы 3D и пр.), не учитывающие специфику наклепа и напряжения металла, присущую обжимным операциям.

В то же время существующие программы моделирования процессов обработки металлов (DEFORM, QForm и пр.) не позволяют автоматизированно проектировать непосредственно технологический инструмент для проведения операций.

**ПО автоматизированного проектирования процесса обжима**

ПО представляет собой модули, написанные в среде Delphi и позволяющие рассчитать количество операций обжима и диаметры обжимных матриц в зависимости от необходимых пооперационных степеней деформации.

Экранная форма модуля расчета параметров обжима состоит из нескольких панелей. Информация, задаваемая на панели ввода данных, представлена в таблице.

Пользователь имеет возможность изменения степеней деформации на каждом из этапов. При этом система автоматически пересчитывает диаметры обжимных матриц для каждой

операции. Хранение параметров целесообразно осуществлять в БД реляционного типа либо же посредством формирования xml-документов [3].

Параметры позиций 1–13, передаваемые в таблицу, являются информационными (отображение данных, полученных с предыдущих этапов).

Параметры позиций 14–21 доступны для редактирования. Кнопка «Расчет» запускает алгоритм расчета количества обжимных операций.

Количество операций обжима  $\Pi$  определяется в зависимости от средней операционной степени деформации [1] по формуле

$$\Pi = \frac{\lg(d'_g) - \lg(d_g)}{\lg(1 - E_{cp.})}$$

где  $E_{cp.}$  – средняя операционная степень деформации, определяемая как  $E_{cp.} = \frac{d'_g - d_1}{d_g} \cdot 100\%$ ,

где  $d'_g$  – наружный диаметр части полуфабриката до обжима, мм;  $d_g$  – наружный диаметр части полуфабриката, мм;  $d_1$  – наружный диаметр части полуфабриката после обжима на данной операции, мм.

Результаты расчета округляются в большую сторону, то есть даже при получении значения в 2,1 обжима происходит увеличение количества операций до трех.

**Внешний вид панели ввода данных**  
**The external view of the data entry panel**

Позиция	Параметр	Единица измерения	Обозначение	Интервал допустимых значений	Значение
1	Диаметр полуфабриката	мм	Dn		160,76
2	Внутренний диаметр верхней части	мм	do		113,79
3	Толщина стенки верхней части	мм	S		1,80
4	Допуск на толщину стенки верхней части	мм	dS		-0,60
5	Диаметр полуфабриката в точке ската	мм	d3		152,60
6	Высота до начала ската	мм	Ick		384,88
7	Высота до начала верхней части	мм	Id		459,88
8	Высота полуфабриката	мм	h		730,00
9	Диаметр полуфабриката под фланцем	мм	d5		160,76
10	Высота точки сопряжения радиуса и конуса	мм	hnk		59,86
11	Диаметр в точке сопряжения радиуса и конуса	мм	dnk		155,19
12	Допуск на внутренний диаметр верхней части	мм	d_dO		0,20
13	Средняя операционная степень деформации	%	sosd		15,00
14	Допуск на толщину фланца	мм	dS3		0,40
15	Припуск верхнего торца фланца	мм	a2	0,5–1,5	1,00
16	Припуск на обрезку верхней части	мм	a4	30–50	40,00
17	Припуск на обточку фланца	мм	ai	1,1–1,2	1,20
18	Высота обточки корпуса над фланцем	мм	hi		16,00
19	Коэффициент упругой деформации верхней части		bd	0,002–0,003	0,003
20	Коэффициент упругой деформации ската		bck	0,003–0,004	0,004
21	Коэффициент упругой деформации корпуса		bk	0,005–0,006	0,005

В процессе расчета количества обжимов автоматически выполняется назначение степеней деформации на каждую операцию. После расчета открывается вкладка, содержание которой представлено на рисунке 2.

По окончании расчета технолог может изменить количество обжимных операций путем изменения средней степени деформации. Увеличение значения средней степени приведет к снижению количества обжимных операций. Вместе с тем это может вызвать дефекты полуфабриката. Уменьшение значения средней степени деформации приведет к увеличению количества обжимных операций, что позволит провести процесс обжима с меньшими рисками возникновения дефектов, однако обусловит удорожание производственного процесса.

Пользователю доступно переназначение степени деформации на каждой операции. В соответствии с этим при нажатии кнопки «Пересчитать диаметры» произойдет автоматический пересчет диаметров и степеней деформации, отображаемых в таблицах и на эскизе (рис. 2).

Набор полей ввода «коэф. ст. деф.» представляет собой значение из интервала от 0 до 1, отображающее долю текущей деформации по

отношению к соседним операциям. В частности, коэффициент 0,66 означает, что из двух смежных операций первая выполнит деформацию на 66 % от суммарного изменения объема, вторая – на оставшиеся 34 %. Это позволяет гибко назначать параметры процессов дефор-

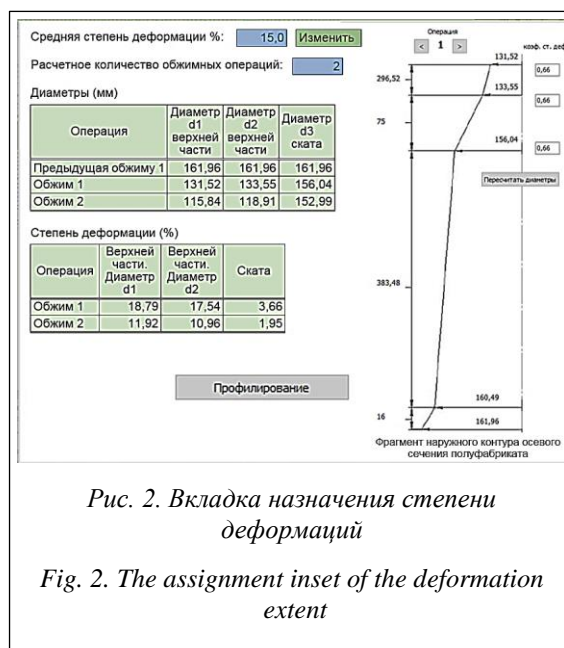


Рис. 2. Вкладка назначения степени деформаций

Fig. 2. The assignment inset of the deformation extent

маций и управлять прочностными характеристиками полуфабриката.

Диаметральные размеры рабочих частей матриц предварительного обжима определяются в зависимости от диаметральных размеров полуфабрикатов окончательного обжима и принятых степеней деформации.

Разбивка на верхнюю и нижнюю матрицы [4] производится программным модулем автоматически в точке существенного изменения угла наклона ломаной, образующей контур полуфабриката.

Интерфейс программного модуля с активной вкладкой «Верхняя матрица» представлен на рисунке 3а. Вкладка «Нижняя матрица» показана на рисунке 3б.

Интерфейс позволяет пользователю переключаться между эскизами верхней и нижней матриц для каждой из обжимных операций.

Для перехода между операциями следует использовать кнопки «<<» и «>>». Размеры матриц будут выводиться автоматически в зависимости от выбранной операции.

Кнопка «Построить 3D-модель» осуществляет подключение к САПР КОМПАС и запускает алгоритм построения модели матрицы. Взаимодействие с КОМПАС осуществляется на основе СОМ-объектов [5, 6].

Результаты работы модуля могут быть использованы при организации информационного и программного обеспечения автоматизированной системы технической подготовки производства для процессов глубокой вытяжки [7, 8].

### Заключение

Разработанный программный модуль обжима позволяет оперативно проектировать и получать значения параметров процесса обжима: количество обжимных операций и пооперационные диаметры инструмента и полуфабрикатов.

Выходные данные программы могут быть использованы для моделирования в системах конечно-элементного анализа. Применение разработанного модуля в совокупности с системами конечно-элементного анализа, например Deform [9, 10], позволит сократить сроки

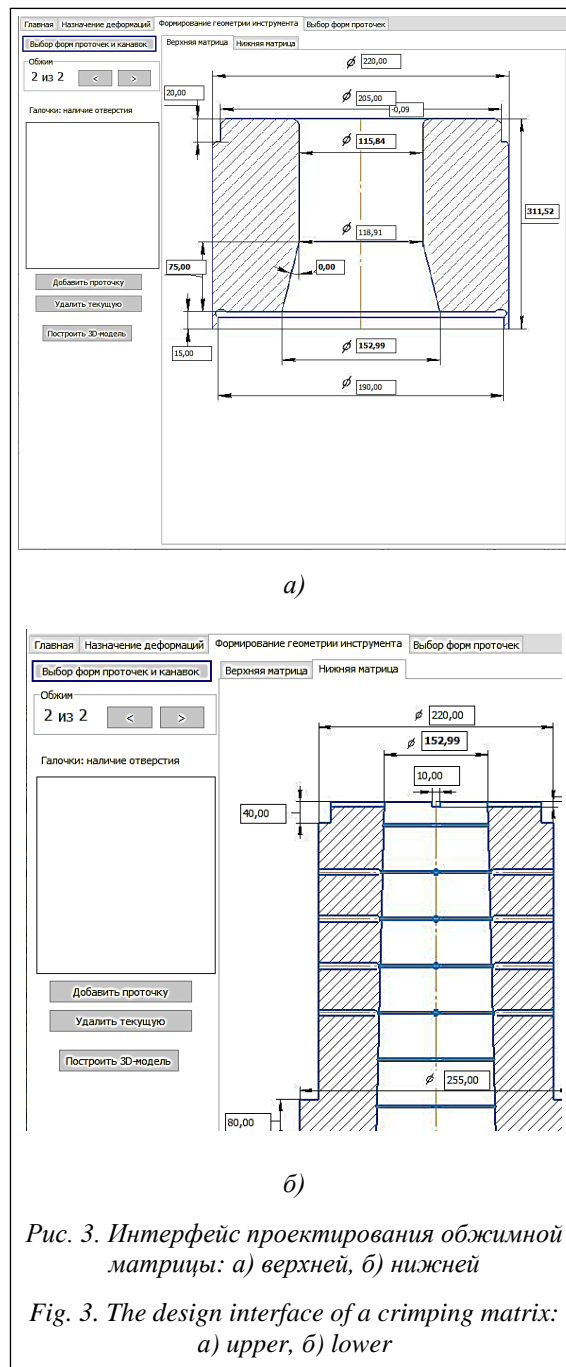


Рис. 3. Интерфейс проектирования обжимной матрицы: а) верхней, б) нижней

Fig. 3. The design interface of a crimping matrix: a) upper, б) lower

изготовления и снизить себестоимость выпускаемой продукции за счет уменьшения времени, необходимого на проектирование процесса обжима и технологического инструмента, а также сокращения комплектов опытных образцов обжимного инструмента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Оренбургской области в рамках проекта № 37 от 14.08.2019.

### Литература

1. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1969. 568 с.
2. Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование; [пер. с англ.]. СПб, 2007. 617 с.
3. Наумов Д.М., Вальтер А.И. Методика применения баз данных в автоматизированных системах расчета процессов ОМД // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. тр. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. С. 27–30.
4. Овечкин М.В., Щеголев А.В., Шерстобитова В.Н. Автоматизация расчета матриц объемной штамповки заготовок круглого сечения // СТИН. 2017. № 12. С. 33–36.
5. Насонов Д.А., Селиверстов И.А., Лосев А.Ю. Интеграция программ инженерного анализа со средой «КОМПАС-ГРАФИК» // Научные технологии. 2007. № 8. С. 11–16.
6. Роменский С.А. Передача геометро-графической информации из САПР «КОМПАС-ГРАФИК» в прикладную программу // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта: сб. тр. М., 2015. С. 97–100.
7. Сердюк А.И., Овечкин М.В., Корнипаев М.А., Щеголев А.В. Метод организации информационного и программного обеспечения системы технической подготовки производства для процессов глубокой вытяжки // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 198–201. DOI: 10.15827/0236-235X.115.198-201.
8. Сердюк А.И., Кузнецова В.Б., Сергеев А.И., Попов А.В. Совершенствование процесса изготовления сложных изделий с использованием PDM-систем на ОАО «ПО «Стрела» // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2013. № 4. С. 54–61.
9. Сергеев А.И., Щеголев А.В., Овечкин М.В. Обзор систем моделирования процессов обработки металлов давлением // Решение проблем развития предприятий: роль научных исследований: матер. V Междунар. науч.-практич. конф. Краснодар, 2014. С. 119–121.
10. Паршин В.С., Кармышев А.П., Некрасов И.И., Пугин А.И., Федулов А.А. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2010. 266 с.

Software & Systems  
DOI: 10.15827/0236-235X.129.084-090

Received 18.09.19  
2020, vol. 33, no. 1, pp. 084–090

### The software module of the automated design for the crimping hollow cylindrical parts process

*M.V. Ovechkin*<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, [maxov-1@mail.ru](mailto:maxov-1@mail.ru)

*A.I. Sergeev*<sup>1</sup>, Dr.Sc. (Engineering), Professor, [alexandr\\_sergeew@mail.ru](mailto:alexandr_sergeew@mail.ru)

*A.I. Serdyuk*<sup>1</sup>, Dr.Sc. (Engineering), Professor, Director, [msap@mail.osu.ru](mailto:msap@mail.osu.ru)

*A.V. Schegolev*<sup>2</sup>, Ph.D. (Engineering), Director General, [office@mz-orisk.ru](mailto:office@mz-orisk.ru)

*M.V. Ivanyuk*<sup>2</sup>, Chief Engineer, [spectre\\_m@list.ru](mailto:spectre_m@list.ru)

*A.V. Kuzmin*<sup>2</sup>, Deputy Chief Designer, [andrewkuzmin@yandex.ru](mailto:andrewkuzmin@yandex.ru)

<sup>1</sup> Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation

<sup>2</sup> Mekhanichesky zavod, Orsk, 462403, Russian Federation

**Abstract.** Metal forming is widely used in the manufacture of products for various purposes. There are crimping operations with the help of a technological tool of crimping matrices to reduce the transverse dimensions of the end part of hollow thin-walled cylindrical parts. Receive a crimped cap of cylindrical cans, aerosol containers packaging, different adapter pipes and other products. The high costs of experimental work and production of pilot batches lead to the relevance to create automatic engineering system of the crimping operation techno - process.

The article presents a business processes sequence UML-diagram of the designing crimp matrices. The purpose of setting up the production technology, of course, is to get such sequence in which the product information will be the least time to get to the work department with the customer without returning to the design stage. This, in particular, requires fast and accurate automated control at the key stages of production. The authors describe in detail the interface and the operation principle of the computer-aided design software module of the crimping technological process. There are the formulas for calculating the number of crimping operations, the presentation structure of the basic data. The described algorithm allows the flexibility to assign

the processes parameters of the deformation and to control the strength characteristics of the functional products. The developed software for the design of the crimping process allows the calculation of parameters such as the operation number and the systematic diameters of the crimp dies.

For modeling in finite element analysis system, we can use the program output data. The authors made a conclusion that the combination of the developed application software and systems of finite element analysis will significantly reduce the production time and cost by reducing the time required for the design of the crimping process, reducing the sets of experimental technological tools.

**Keywords:** crimping, deformation, technological process, hollow cylindrical products.

**Acknowledgements.** *The research was with the financial support of Orenburg government within the frame of a science project №37 from 14.08.2019 “The introduction of the constructive-technologic methodology of the impression operation planning to the economic turnover of the machine building factory of Orenburg government”.*

### References

1. Malov A.N. *Cold Forming Technology*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969, 568 p.
2. Arlow J., Neustadt I. *UML 2 and Unified Process. Practical Object-Oriented Analysis and Design*. Addison Wesley, 2005, 624 p. (Russ. ed.: St. Petersburg, Simvol Plus Publ., 2007, 617 p.).
3. Naumov D.M., Valter A.I. Application of databases in automated calculation systems for metal working processes. *Proc. Automation: Problems, Ideas, Solutions*. Tula, TulGU Publ., 2009, pp. 27–30 (in Russ.).
4. Ovechkin M.V., Shchegolev A.V., Sherstobitova V.N. Automation of the calculation of the matrices forging of blanks of circular cross section. *STIN*. 2017, no. 12, pp. 33–36 (in Russ.).
5. Nasonov D.A., Seliverstov A., Losev A.U. Integration of engineering analysis programs with the KOMPAS-GRAFIK. *High Technologies*. 2007, no. 8, pp. 11–16 (in Russ.).
6. Romensky S.A. Transfer of geometric and graphic information from the CAD KOMPAS-GRAFIK into the application program. *Proc. CAD/CAM/PDM*. Moscow, 2015, pp. 97–100 (in Russ.).
7. Serdyuk A.I., Ovechkin M.V., Kornipaev M.A., Shchegolev A.V. A method of organizing information and software for CAM deep drawing processes. *Software & Systems*. 2016, no. 3, pp. 198–201. DOI: 10.15827/0236-235X.115.198-201 (in Russ.).
8. Serdyuk A.I., Kuznetsova V.B., Sergeev A.I., Popov A.V. Improving the process of manufacturing complex products using PDM systems at “Strela” PA. *ITDP*. 2013, no. 4, pp. 54–61 (in Russ.).
9. Sergeev A.I., Shchegolev A.V., Ovechkin M.V. An overview of the systems modeling metal working processes. *Proc. 5th Int. Sci. and Pract. Conf. “Solving the Problems of Enterprise Development: the Role of Scientific Research”*. Krasnodar, 2014, pp. 119–121 (in Russ.).
10. Parshin V.S., Karmyshev A.P., Nekrasov I.I., Pugin A.I., Fedulov A.A. *Practical Guidance to the DEFORM-3D*. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2010, 266 p. (in Russ.).

### Для цитирования

Овечкин М.В., Сергеев А.И., Сердюк А.И., Щеголев А.В., Иванюк М.В., Кузьмин А.В. Программный модуль автоматизированного проектирования процесса обжима полых цилиндрических деталей // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 1. С. 084–090. DOI: 10.15827/0236-235X.129.084-090.

### For citation

Ovechkin M.V., Sergeev A.I., Serdyuk A.I., Schegolev A.V., Ivanyuk M.V., Kuzmin A.V. The software module of the automated design for the crimping hollow cylindrical parts process. *Software & Systems*. 2020, vol. 33, no. 1, pp. 084–090 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.129.084-090.