

УДК 621.777: 621.777:22

DEFORM-3D Modeling in Continuous Extrusion of Copper Busbars for Installation Conform with the Pre-Chamber Matrix

**Yury V. Gorohov,
Sergey V. Belyaev*, Igor V. Mochalin,
Igor V. Uskov, Ivan Yu. Gubanov,
Tatiana Yu. Gorokhova and Pavel A. Hramtsov**
*Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 23.05.2016, received in revised form 19.06.2016, accepted 30.07.2016

The article presents the results of computer simulation of continuous extrusion method Conform with expanding pre-chamber array. allowing to improve the design of press tools. It is shown that the installation of the matrix within the prechamber and expanding the use of multi-channel compression greatly reduces the amount of dead zones increases the uniformity of metal flow in the deformation zone and reduces the appearance of marriage moldings.

Keywords: Conform by pressing, pre-chamber matrix, computer simulation.

Citation: Gorohov Y.V., Belyaev S.V., Mochalin I.V., Uskov I.V., Gubanov I.Yu., Gorokhova T.Yu., Hramtsov P.A. DEFORM-3D modeling in continuous extrusion of copper busbars for installation conform with the pre-chamber matrix, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2016, 9(6), 821-829. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-6-821-829.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: 244812@mail.ru

Моделирование в DEFORM-3D непрерывного прессования медных шин на установке конформ с форкамерной матрицей

**Ю.В. Горохов, С.В. Беляев,
И.В. Мочалин, И.В. Усков,
И.Ю. Губанов, Т.Ю. Горохова, П.А. Храмцов**
*Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

В статье представлены результаты компьютерного моделирования непрерывного прессования методом конформ с использованием расширяющейся форкамерной матрицы, что позволило усовершенствовать конструкцию прессового инструмента. Показано, что установка матрицы внутри расширяющейся форкамеры и применение многоканального прессования значительно снижают объем мертвых зон, повышают равномерность течения металла в очаге деформации и пресс-изделий.

Ключевые слова: прессование методом конформ, форкамерная матрица, компьютерное моделирование.

Введение

В начале 1970-х годов английскими фирмами Outokumpu Holton Ltd. (ранее Holton Machinery Ltd.) и BWE Ltd. (ранее Babcock Wire Equipment) началось промышленное освоение способа конформ. К настоящему времени изготовлено и внедрено более 1000 линий с установками конформ для производства прессованных профилей из цветных металлов и сплавов. Установки данных фирм достаточно надежны, компактны и позволяют получать разнообразные длинномерные пресс-изделия из меди и алюминия с относительно небольшим поперечным сечением [1-3]. Однако размеры конструкций матриц на английских установках конформ не выходили за пределы ширины ручья колеса, что, в свою очередь, ограничивало габариты прессуемых профилей. Для решения данной проблемы при изготовлении профилей на горизонтальных гидравлических прессах обычно применяют форкамерные матрицы [4], а использование форкамерных матриц на установках конформ было связано с определенными техническими трудностями. Только в 2008 году китайская фирма Dalian Conform Technical Co., Ltd начала применение форкамерных матриц на установках конформ, что значительно расширило сортамент не только сплошных, но и полых пресс-изделий [5]. Установки конформ с расширяющейся форкамерной матрицей (рис. 1) в настоящее время начинают широко применяться для непрерывного прессования профилей из цветных металлов и сплавов, в том числе и России, например на Каменск-Уральском заводе ОЦМ при производстве медных шин. Однако промышленное освоение данного процесса сдерживается отсутствием необходимых теоретических и экспериментальных исследований в этой области. Поэтому для дальнейшей практической реализации нового процесса непрерывного прессования методом конформ с расширяющейся форкамерной матрицей было проведено компьютерное моделирование данного процесса в DEFORM-3D.



Рис. 1. Общий вид установки конформ фирмы Dalian Conform Technical Co., Ltd

Моделирование непрерывного прессования методом конформ с использованием расширяющейся форкамерной матрицей

Компьютерное моделирование находит широкое применение в области разработки и проектирования процессов обработки металлов давлением (далее – ОМД). Этому способствует как быстрый рост вычислительной мощности современных ЭВМ, так и бурное развитие программных средств для расчета формоизменения. В настоящее время для анализа процессов ОМД наибольшее развитие получают математические модели, основанные на методе конечных элементов (МКЭ), к которым относится программный комплекс DEFORM-3D. Данный комплекс создан специально для технологов, имеет простой русскоязычный Windows-интерфейс и не требует специальных математических или конечно-элементных знаний. Он незаменим на самой длительной и дорогостоящей стадии технологической подготовки производства – стадии разработки, доводки и внедрения технологии. В DEFORM нет ограничений на количество объектов (как деформируемых, так и деформирующих), участвующих в процессе. Это позволяет моделировать самые сложные технологические операции, в которых участвуют сборные заготовки и любое количество инструментов. Система DEFORM предоставляет широкие возможности для обработки результатов, оценки процесса на наличие дефектов (образование трещин, складок, незаполнение штампа и др.), анализа течения материала. Результаты включают в себя график усилия, поля распределения напряжений, деформаций и температуры, причем они могут быть представлены графически и таблично [6-8]. Поэтому для решения поставленной задачи использовали программный комплекс DEFORM-3D.

На рис. 2 изображена схема непрерывной экструзии металла способом конформ с применением расширяющейся форкамеры.

Прутковая заготовка 7 задается в ручей 2 приводного колеса 1 с помощью прижимного вала 9, продвигается до опорной вставки 5, выдавливается через канал и заполняет расширяющуюся форкамеру. На выходе из форкамеры установлена матрица 6, в калибрующее отверстие которой экструдирован пресс-изделие.

На рис. 3 представлен макрошлиф медного темплета в объеме расширяющейся форкамерной матрицы, полученный при прессовании шины прямоугольного сечения на установке конформ с форкамерой фирмы Dalian Conform Technical Co., Ltd.

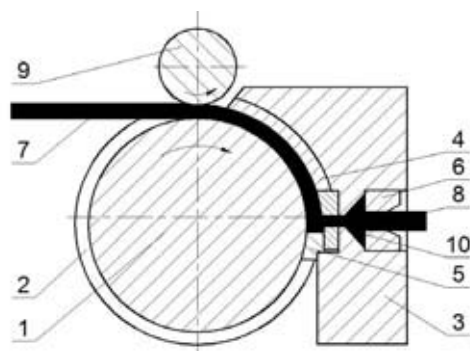


Рис. 2. Схема конформ с расширяющейся форкамерой: 1 – рабочее колесо; 2 – ручей колеса; 3 – башмак; 4 – кольцевая вставка; 5 – опорная вставка; 6 – матрица; 7 – заготовка; 8 – изделие; 9 – прижимной валок; 10 – форкамера



Рис. 3. Макрошлиф медного темплета в объеме расширяющейся форкамерной матрицы

В комплект прессового инструмента базовой установки конформ входит форкамера с трапециевидной формой продольного сечения. Матрицы сопрягаются с форкамерой по её большому основанию при экструдировании широкого типоразмера профилей. При этом расстояние между наклонными боковыми стенками форкамеры и торцевыми сторонами канала матрицы не регулируются, что приводит к неравномерному течению металла по сечению прессуемого профиля, к возникновению растягивающих напряжений и, как следствие, образованию расслоений и трещин на боковых кромках шины (рис. 4) – появлению брака на поверхности пресс-изделий.

Для устранения этих дефектов в пакете DEFORM-3D была разработана компьютерная модель процесса экструдирования прямоугольной шины на установке конформ с расширяющейся форкамерной матрицей. Анализ поля скоростей (рис. 5 и 6) свидетельствует о возникновении значительных по объему мертвых зон на контакте с опорной вставкой и карманах форкамеры. Подобная картина наблюдается также на макрошлифе темплета (рис. 3), что позволяет судить об адекватности созданной компьютерной модели.

Анализ поля напряжений (рис. 7) позволяет судить о достаточно равномерном распределении напряжений по очагу деформации.

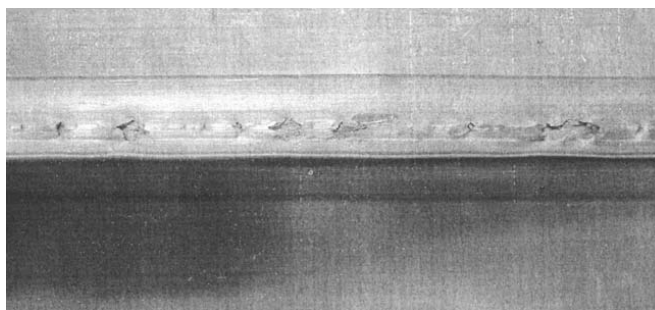


Рис. 4. Боковая кромка медной шины 50x8 мм

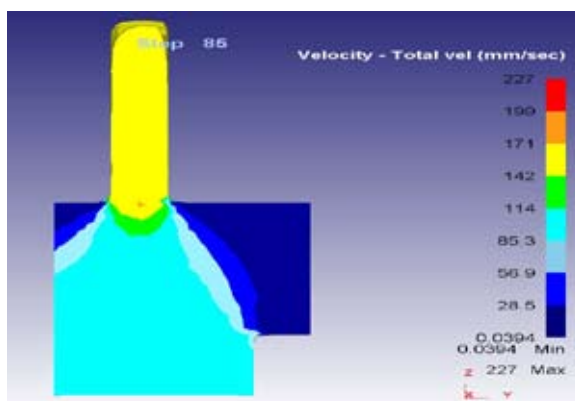


Рис. 5. Поле скоростей (поперечный разрез) в объеме расширяющейся форкамерной матрицы

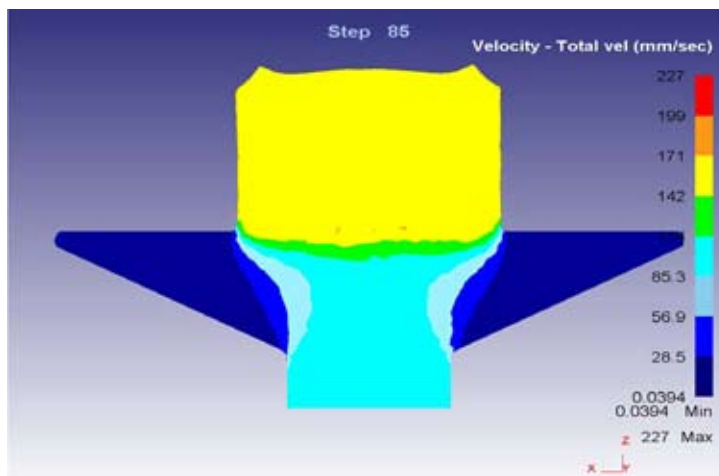


Рис. 6. Поле скоростей (продольный разрез) в объеме расширяющейся форкамерной матрицы

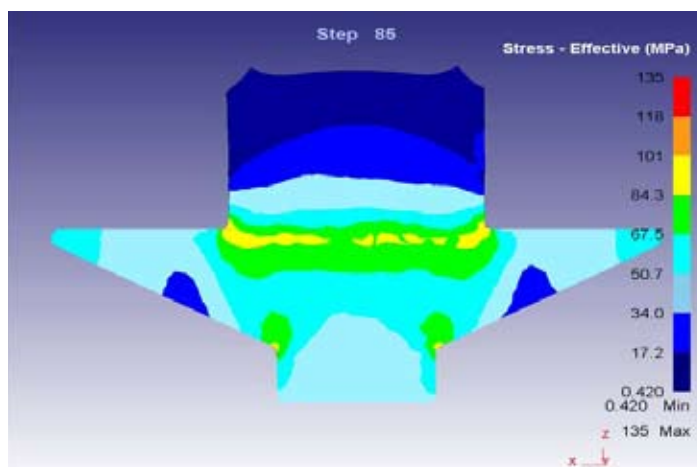


Рис. 7. Поле напряжений в объеме расширяющейся форкамерной матрицы

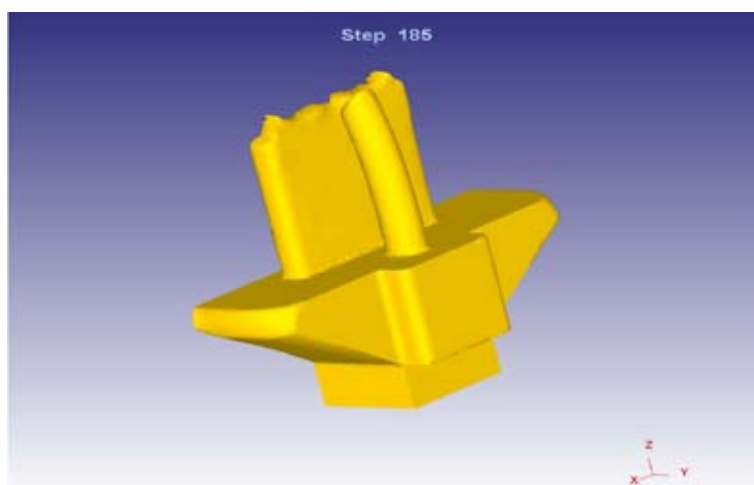


Рис. 8. Общий вид модели в объеме расширяющейся форкамерной матрицы

Снижения объема мертвых зон и повышения эффективности процесса прессования можно добиться путем использования многоканального прессования. Модель многоканального прессования медной шины и прутка диаметром 8 мм показана на рис. 8.

Анализируя поле скоростей (рис. 9 и 10), можно сделать вывод, что применение многоканального прессования значительно снижает объем мертвых зон и повышает равномерность течения металла в очаге деформации. Анализ поля напряжений позволяет судить о равномерном распределении напряжений по очагу деформации.

Определение оптимального расстояния между наклонными боковыми стенками форкамеры и торцевыми сторонами канала матрицы схематично представлено на рис. 11 (сечение А). Очевидно, что для обеспечения равномерности течения металла в канал матрицы достаточно соблюдения условия $b = h$, которое достигается путем соответствующей установки матрицы внутри расширяющейся форкамеры.

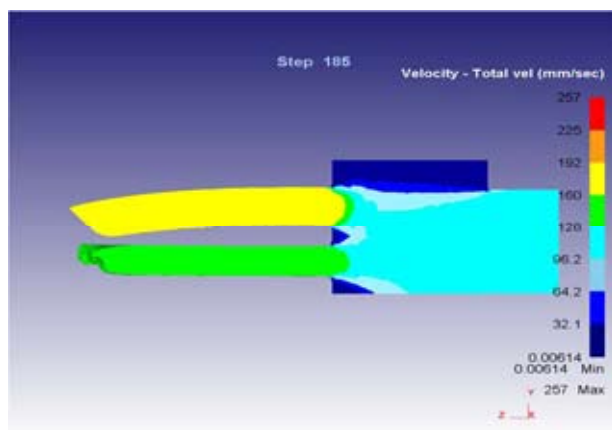


Рис. 9. Поле скоростей (поперечный разрез) в объеме расширяющейся форкамерной матрицы при многоканальном прессовании

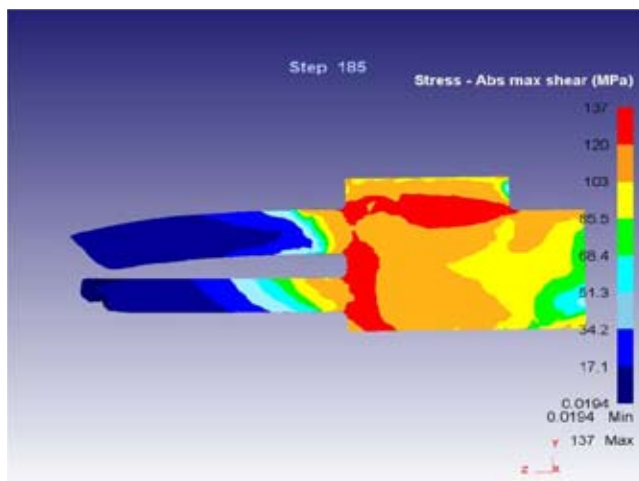


Рис. 10. Поле напряжений (поперечный разрез) в объеме расширяющейся форкамерной матрицы при многоканальном прессовании

Выводы

Результаты моделирования процесса конформ с расширяющейся форкамерой с использованием системы DEFORM-3D позволили значительно усовершенствовать конструкцию прессового инструмента для получения медных шин высокого качества в условиях Каменск-Уральского завода ОЦМ. Сущность усовершенствования заключается в разработке устройства для непрерывного прессования металлов методом конформ, включающего приводное колесо с кольцевой канавкой, дугообразный сегмент (башмак) с выступом, перекрывающим кольцевую канавку, расположенную в сегменте трапециевидную форкамеру, сообщающуюся меньшим основанием с кольцевой канавкой, а большим основанием с матрицей. Устройство отличается от существующих конструкций тем, что матрица в форкамере установлена таким образом, что

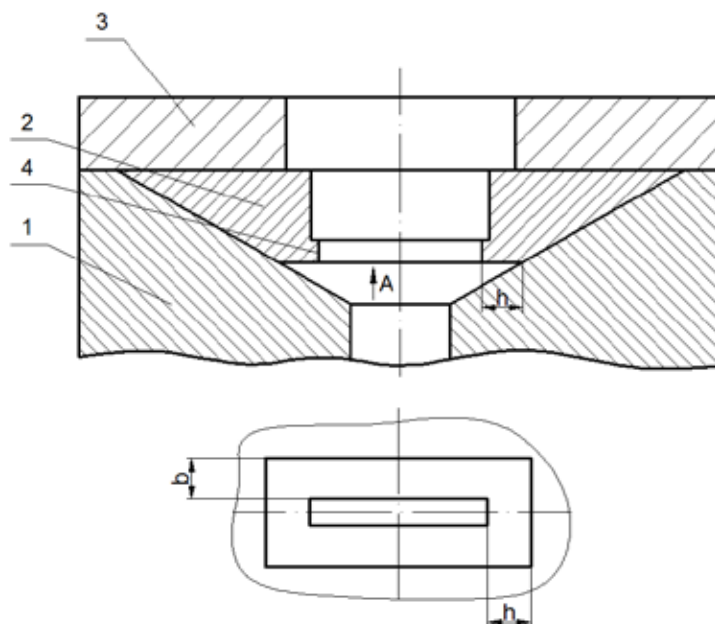


Рис. 11. Схема расположения матрицы в расширяющейся форкамере: 1 – форкамера; 2 – матрица; 3 – опора; 4 – калибрующий поясok матрицы

расстояние от стенок форкамеры до пояса канала матрицы одинаково по всему её периметру. Техническая новизна данного устройства подтверждена патентом РФ [9].

Список литературы

[1] Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Безруких А.И., Усков Д.И. Совершенствование технологии совмещенного непрерывного литья и прессования. *Металлургия машиностроения*, 2013, № 6, 29-32 [Gorokhov Yu.V, Belyaev S.V, Uskov I.V, Bezrukikh A.I., Uskov D.I. Improving the technology of combined continuous casting and pressing. *Engineering Metallurgy*, 2013, № 6, 29-32 (in Russian)].

[2] Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В., Губанов И.Ю., Косович А.А. Развитие совмещенного непрерывного процесса литья и прессования. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2014, 7(4), 438-444 [Gorokhov Yu.V, Belyaev S.V., Uskov I.V., Gubanov I.Yu, Kosovich A.A. The development of combined continuous process of casting and molding. *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2014, 7 (4), 438-444 (in Russian)].

[3] Сидельников С.Б., Горохов Ю.В., Беляев С.В. Инновационные совмещенные технологии при обработке металлов. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2015, 8(2), 185-191 [Sidelnikov S.B., Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V. Innovative technology combined with the processing of metals. *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2015, 8 (2), 185-191 (in Russian)].

[4] Баузер М., Заузер Г., Зигерт К. *Прессование*. Справочное руководство. М.: АЛЮСИЛ МВиТ, 2009. 918 с [Bowser M., Zauzer G., Siegert K. *Extrusion*. Reference Guide. М.: Alusil MVT, 2009. 918 p (in Russian)].

[5] Проспект фирмы Dalian Conform Technical Co., Ltd. (Китай), 2008. 22 с [Prospect firm Dalian Conform Technical Co., Ltd. (China), 2008, 22 p].

[6] Губанов И.Ю., Беляев С.В., Широков П.О., Салатов А.В., Маслов И.Ю. Особенности моделирования процесса полунепрерывного прессования алюминиевых сплавов. *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева*, 2010, 6(32), 35-38 [Gubanov I.Yu., Belyaev S.V., Shirokov P.O., Salatov A.V., Maslov I.Yu. Features of the modeling process semi-pressing of aluminum alloys. *Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Acad. M.F. Reshetnev*, 2010, 6 (32), 35-38 (in Russian)].

[7] Любанова А.Ш., Горохов Ю.В., Солопко И.В., Зиборов А.Ю. Оптимизация равномерности течения металла при непрерывном прессовании способом Conform. *Металлы*, 2010, № 2, 28-33 [Lyubanova A.S., Gorokhov Yu.V., Solopko I.V., Ziborov A.Yu. Optimization of metal flow uniformity in a continuous extrusion process Conform. *Metals*, 2010, № 2, 28-33 (in Russian)].

[8] Горохов Ю.В., Шеркунов В.Г., Довженко Н.Н., Беляев С.В., Довженко И.Н. *Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов*: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 268 с [Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Dovzhenko N.N., Belyaev S.V., Dovzhenko I.N. *Fundamentals of continuous metal extrusion process: monograph*. Krasnoyarsk: Sib. Feder. University Press, 2013. 268 p (in Russian)].

[9] Устройство для непрерывного прессования металлов цветных металлов методом Конформ: пат. 155760 U1 Рос. Федерация: МПК В21С 23/00. / Горохов Ю.В., Беляев С.В. Мочалин И.В. [и др.]; патентообладатель ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет. – № 2015105496/02; заявл. 17.02.2015; опубл. 20.10.2015, Бюл. № 29 [The device for continuous extrusion of metals nonferrous metals by Conform: Pat. 155 760 U1 RU: IPC B21C 23/00. / Gorokhov Yu.V., Belyaev S.V., Mochalin I.V. [etc.]; patent FGAOU VPO Siberian Federal University. – № 2015105496/02; appl. 02/17/2015; publ. 20.10.2015, Bull. Number 29 (in Russian)].