

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-198-203>

УДК 620.4539.37

## Моделирование процесса скоростного выдавливания биметаллических резцов для дорожных машин в среде программы DEFORM-3D

Докт. техн. наук, проф. И. В. Качанов<sup>1)</sup>, инж. И. М. Шаталов<sup>1)</sup>, асп. А. А. Рубченя<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018  
Belarusian National Technical University, 2018

**Реферат.** Резцы для дорожной фрезы – это оборудование, к которому предъявляются самые строгие требования, связанные с усталостной и статической прочностью. Поэтому большинство современных фрезерных резцов изготавливаются с применением высококачественных сталей, легированных марганцем и хромом. В целях продления эксплуатационного ресурса резцы для дорожной фрезы дополняются твердосплавными вставками, припаянными к головке. В этой связи применение технологии скоростного горячего выдавливания, которая уже зарекомендовала себя в ряде исследований как высокоэффективная технология получения точных заготовок под инструмент с повышенными механическими свойствами, для изготовления дорожных резцов является весьма перспективным направлением исследований. Цель исследований – создание компьютерной модели процесса скоростного горячего выдавливания для интенсификации процесса разработки технологии изготовления биметаллических резцов для дорожных машин и сопоставление полученных результатов моделирования с экспериментальными. Сравнительный анализ пластического течения реальных и модельных образцов показал, что полученные модели предоставляют качественную и достоверную картину пластического течения в процессе скоростного горячего выдавливания. Моделирование в DEFORM-3D позволяет исключить сложные расчеты и значительно сократить число экспериментальных исследований при разработке новых технологических процессов.

**Ключевые слова:** дорожная фреза, скоростное горячее выдавливание, метод конечных элементов, штамповая оснастка, заготовка, пуансон, объемная штамповка

**Для цитирования:** Качанов, И. В. Моделирование процесса скоростного выдавливания биметаллических резцов для дорожных машин в среде программы DEFORM-3D / И. В. Качанов, И. М. Шаталов, А. А. Рубченя // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 3. С. 198–203. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-198-203>

## Modeling of High-Speed Extrusion Process for Bimetal Milling Picks of Road Milling Machines in DEFORM-3D Software Environment

I. V. Kachanov<sup>1)</sup>, I. M. Shatalov<sup>1)</sup>, A. A. Roubchenya<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Milling picks for road milling machine are considered as equipment which must meet the most stringent requirements associated with fatigue and static strength. Therefore, majority of modern milling picks are manufactured while using high-quality steels alloyed with manganese and chromium. In order to extend service life of the picks for the road milling machine they are supplemented with carbide inserts soldered to the head. In this connection, an application of high-speed hot extrusion technology which has already proved itself in a number of investigations as a highly efficient technology for obtaining

### Адрес для переписки

Качанов Игорь Владимирович  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 65,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 292-76-77  
hidrokaf@bntu.by

### Address for correspondence

Kachanov Igor V.  
Belarusian National Technical University  
65 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 292-76-77  
hidrokaf@bntu.by

precise billets for tools with increased mechanical properties, manufacture of road milling picks, is a very promising direction of the research. The aim of the research is to create a computer model for high-speed hot extrusion in order to intensify a process pertaining to development of technology for manufacturing bimetal picks for road milling machines and to compare the obtained results of modeling and experimental studies. A comparative analysis of the plastic flow in real and model samples has shown that the obtained models provide a qualitative and reliable picture of the plastic flow in the process of high-speed hot extrusion. Modeling in DEFORM-3D eliminates complicated calculations and significantly reduces a number of experimental studies while developing new technological processes.

**Keywords:** road milling pick, high-speed hot extrusion, finite element method, die tooling, billet, punch, bulk forging

**For citation:** Kachanov I. V., Shatalov I. M., Roubchenya A. A. (2018) Modeling of High-Speed Extrusion Process for Bimetal Milling Picks of Road Milling Machines in DEFORM-3D Software Environment. *Science and Technique*. 17 (3), 198–203. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-198-203> (in Russian)

## Введение

Современное развитие промышленного производства тесно связано с использованием наукоемких и высоких технологий, обеспечивающих конкурентоспособность выпускаемой продукции на мировом рынке путем внедрения новых эффективных процессов обработки материалов при одновременном снижении энерго- и ресурсопотребления. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологии, основанные на получении биметаллических формообразующих деталей штамповой оснастки методом скоростного горячего выдавливания (СГВ), позволяющие за один удар получать высокоточные изделия с экономией штамповых сталей до 90 % [1–4]. Чтобы разработать технологический процесс изготовления биметаллического инструмента методом СГВ, необходимы информация о характере пластического течения, а также сведения об откликах системы «штамп – инструмент – деформируемый образец» на изменение технологических параметров. Для получения такой информации могут быть использованы методы экспериментального исследования и теоретического моделирования, а также их комбинация. Главная трудность применения всех методов экспериментального исследования заключается в необходимости изготовления технологической оснастки, стоимость которой весьма значительна.

Существенный недостаток теоретических методов – трудность или невозможность их применения к исследованию сложных процессов СГВ. Кроме того, к недостаткам следует отнести некорректность принимаемых допущений: усреднение интенсивности напряжений по очагу пластической деформации, затруднен-

ность или вовсе невозможность учета реальных контактных условий и формоизменения деформируемого образца на каждом этапе протекания процесса, отсутствие учета волновых эффектов при ударном воздействии инструмента на деформируемую заготовку.

Альтернативой экспериментальному и теоретическому методам исследований является использование имитационного моделирования процессов объемной штамповки с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Неоспоримое и весьма ценное достоинство этого метода – возможность проведения комплексного физико-механического анализа, который базируется на основных концептуальных положениях, законах и теоремах механики сплошной среды вообще и деформируемого твердого тела в частности. Корректная модель в МКЭ максимально приближена к реальному физическому процессу и позволяет учитывать весьма тонкие физические эффекты [5, 6].

Цель исследований, проводимых авторами, – сопоставление результатов экспериментов при получении биметаллических резцов для дорожных машин.

## Методика моделирования

Для проведения исследований и отработки технологии в качестве прототипа выбран резец фирмы Wirtgen W6/20 (рис. 1). Он широко применяется при снятии асфальтобетонного полотна как на малопроизводительных машинах для осуществления ямочного ремонта, так и на высокопроизводительных самоходных дорожных фреззах с шириной барабана более 2 м.

Используя размеры резца-прототипа, был разработан эскиз опытного биметаллического резца, представленный на рис. 2.



Рис. 1. Дорожный резец W6/20 фирмы Wirtgen  
Fig. 1. Road milling pick W6/20 of Wirtgen company

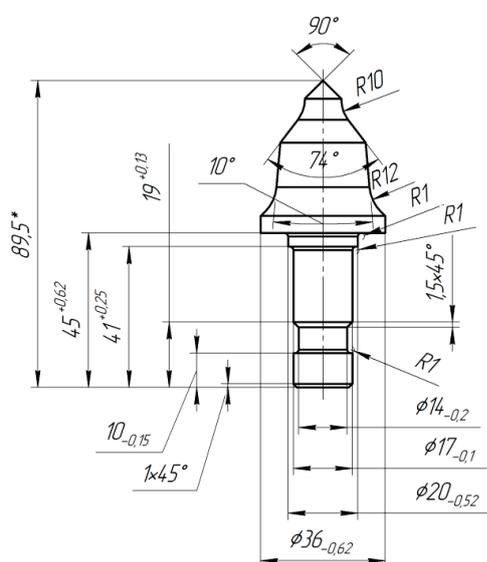


Рис. 2. Эскиз опытного биметаллического резца  
Fig. 2. Sketch of experimental bimetal road milling pick

На основе разработанного эскиза резца создана модель для анализа пластического течения в среде программы DEFORM-3D (рис. 3).

Геометрические параметры пуансона и матрицы (рис. 3) принимались на основе упрощенных геометрических параметров эскиза опытного резца. Объем заготовки равен объему полости формообразования хвостовика и матричной полости.

Эскиз оснастки для компьютерного моделирования процесса пластического формообразования резца приведен на рис. 4.

После создания исходной модели в препроцессоре программы DEFORM-3D были заданы следующие исходные данные:

- начальная скорость деформирования  $v_0 = (50-60)$  м/с;
- температура составной заготовки  $T = 1150$  °С (учитываем, что потеря температуры  $\Delta T$  при переносе от печи до штампа составляет 50 °С);
- учет потери теплоты заготовки при взаимодействии с инструментом и приращение температуры в ходе деформирования (программа определяет автоматически);
- коэффициент трения  $f = 0,015$  [7];
- количество конечных элементов в объеме заготовки 20000 (задается в зависимости от требуемой точности расчета).

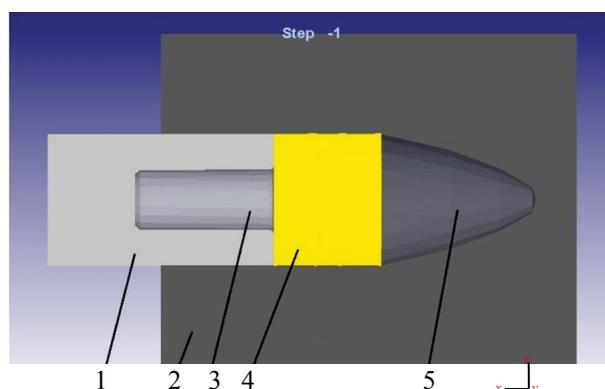


Рис. 3. Модель для анализа пластического течения составной заготовки до ударного нагружения составной заготовки: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – полость для формообразования хвостовика; 5 – матричная полость

Fig. 3. Model for analysis of plastic flow in composite billet prior to its impact loading: 1 – punch; 2 – die; 3 – billet; 4 – shank forming cavity; 5 – die cavity

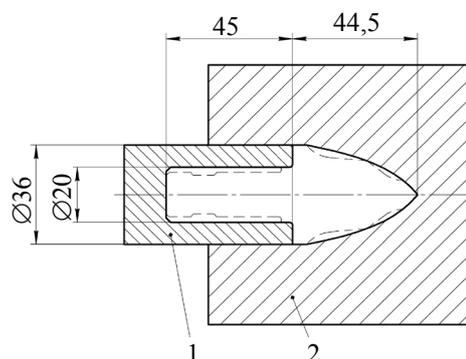


Рис. 4. Эскиз оснастки для компьютерного моделирования процесса пластического формообразования резца: 1 – пуансон; 2 – полуматрица

Fig. 4. Sketch of die tooling for computer simulation of road milling pick plastic shaping process: 1 – punch; 2 – die

После ввода данных запускается пошаговый процесс симуляции с возможностью ввода линии раздела биметалла и просмотра картины течения на любом шаге, т. е. при любом перемещении пуансона, например в момент завершения процесса деформирования (рис. 5).

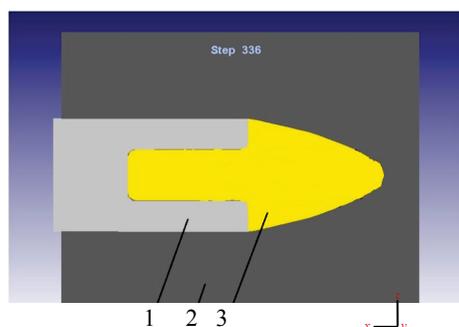


Рис. 5. Модель пластического течения в момент завершения процесса деформирования составной заготовки: 1 – пуансон; 2 – полуматрица; 3 – продеформированная заготовка

Fig. 5. Model of plastic flow at the process completion moment for composite billet deformation process: 1 – punch; 2 – die; 3 – deformed billet

При компьютерном моделировании в DEFORM-3D для оптимизации экспериментальных исследований пластического течения биметаллических заготовок существует возможность создания «обратной» модели. Задавая в модели продеформированного образца требуемую линию раздела двух металлов (рис. 6а, линия А) и «обратным» моделированием придавая составному образцу форму до деформации, можно установить оптимальную форму сопряжения двух частей исходной заготовки (рис. 6б, линия В).

Отмеченное обстоятельство позволило установить до начала экспериментальных исследований вид сопрягаемых поверхностей и характер изменения поверхности раздела В внутри составного образца (рис. 6б), способной в процессе деформации трансформироваться в плоскую поверхность, на базе которой создается неразъемное соединение двух частей биметаллического реза.

Таким образом, на основе полученной «обратной» модели заготовки создан эскиз заготовки опытного реза (рис. 7б) путем аппроксимирования размеров модели (рис. 7а).

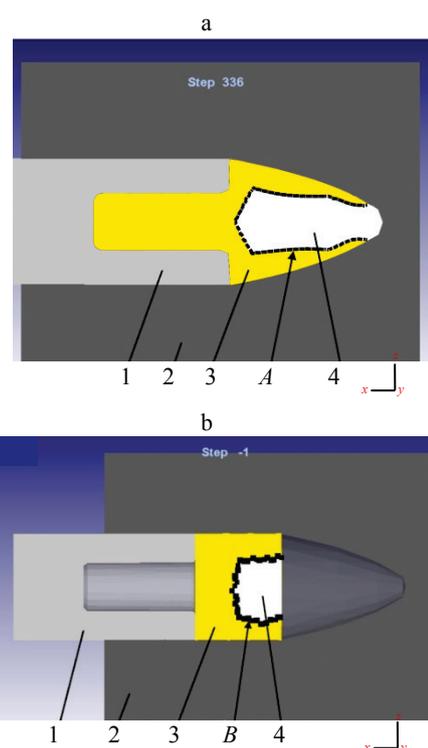


Рис. 6. Модель пластического течения продеформированной заготовки: 1 – пуансон; 2 – полуматрица; 3 – конструкционная сталь; 4 – быстрорежущая сталь

Fig. 6. Model of plastic flow in deformed billet: 1 – punch; 2 – die; 3 – structural steel; 4 – high-speed steel

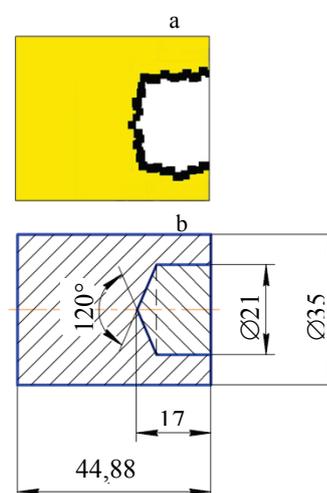


Рис. 7. Создание эскиза заготовки опытного реза на основе полученной «обратной» модели

Fig. 7. Sketch of composite billet for experimental road milling pick based on the obtained “reverse” model

Сравнительный анализ пластического течения реальных образцов, изготовленных по технологии, описанной в [8–10], и полученных моделей производился в графическом редакто-

ре КОМПАС путем наложения линий раздела двух материалов 1 и 2 (рис. 8, линия А на линию В).

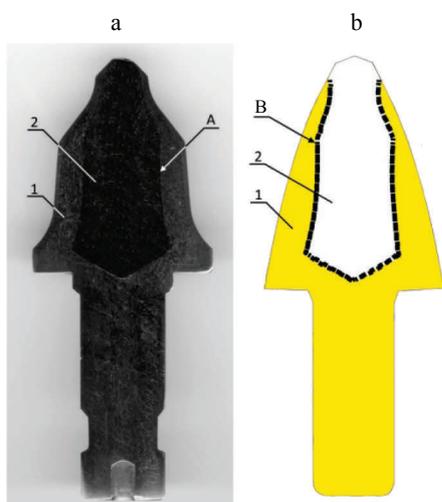


Рис. 8. Сравнительный анализ пластического течения реальных образцов (а) и полученных моделей (б): 1 – сталь 40Х; 2 – сталь P18

Fig. 8. Comparative analysis of plastic flow in real samples (a) and obtained models (b): 1 – steel 40X; 2 – steel P18

Относительное расхождение несопадающих точек не превышало 10 %. Это объясняется тем, что для моделей приняты идеальные условия деформирования, не учитывающие допуски, назначаемые при изготовлении реальной оснастки, и физическую природу строения реальных металлов. В целом же моделирование пластического течения биметаллических составных заготовок, как это видно из рассмотрения линий раздела двух материалов А и В на рис. 8, является качественным и достоверным.

### ВЫВОДЫ

1. Построены и изучены модели получения биметаллических резцов для дорожных машин в компьютерной программе DEFORM-3D методом конечных элементов.

2. Проведен сравнительный анализ пластического течения реальных и модельных образцов и установлено, что полученные модели предоставляют качественную и достоверную картину пластического течения в процессе скоростного горячего выдавливания.

3. Возможность «обратного» моделирования позволяет до проведения экспериментальных исследований установить оптимальную форму изготовления составной биметаллической заготовки, что представляет собой вклад в теорию математического планирования эксперимента в части установления минимального количества экспериментов с прогнозируемым расположением поверхности соединяемых разнородных материалов в процессе изготовления биметаллических деталей различного функционального назначения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. Минск: Технопринт, 2002. 327 с.
2. Здор, Г. Н. Технология высокоскоростного деформирования материалов / Г. Н. Здор, Л. А. Исаевич, И. В. Качанов. Минск: БНТУ, 2010. 456 с.
3. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов [и др.]. Минск: БНТУ, 2011. 198 с.
4. Капранов, В. Н. Особенности высокоскоростного горячего выдавливания формовочного инструмента повышенной точности / В. И. Капранов, В. Я. Осинных // Повышение качества и эффективности изготовления технологической оснастки методами пластического деформирования: сб. тез. Всесоюз. науч.-техн. конф. Таллинн, 1977. С. 125–129.
5. Исследование технологических возможностей поперечного выдавливания методом конечных элементов / К. М. Иванов [и др.] // Металлообработка. 2001. № 2. С. 24–27.
6. Иванов, К. М. Метод конечных элементов в технологических задачах ОМД / К. М. Иванов, В. С. Шевченко, Э. Е. Юргенсон. СПб.: Ин-т машиностроения, 2000. 217 с.
7. Согришин, Ю. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. М.: Машиностроение, 1978. 164 с.
8. Рубчя, А. А. Технология изготовления резцов для дорожных машин / А. А. Рубчя, А. А. Дениsik, А. А. Герасименко // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений: материалы I Междунар. студ. конф. Минск: БНТУ, 2017. С. 172–177.
9. Резец для дорожной или горной машины и способ его изготовления: пат. 21535 Респ. Беларусь, МПК Е 21С 35/183 / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, А. А. Рубчя, В. В. Власов; дата публ. 28.02.2016.
10. Рубчя, А. А. Моделирование пластического течения металла при скоростном горячем выдавливании до-

рожных резцов / А. А. Рубченя // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса: материалы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Минск, 1–15 дек. 2015 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника»; редкол.: А. В. Королев, В. С. Миленский, С. Б. Соболевский. Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2016. 286 с.

Поступила 05.10.2017

Подписана в печать 08.12.2017

Опубликована онлайн 29.05.2018

## REFERENCES

1. Kachanov I. V., Isaevich L. A. (2002) *High-speed Hot Extrusion of Core Products*. Minsk, Tekhnoprint. 327 (in Russian).
2. Zdor G. N., Isaevich L. A., Kachanov I. V., (2010) *Technology of High-Speed Material Deformation*. Minsk, Belarusian National Technical University. 456 (in Russian).
3. Kachanov I. V., Zdor G. N., Isaevich L. A., Shary V. N. (2011) *High-Speed Hot Extrusion of Core Products with Butt end Cladding*. Minsk, Belarusian National Technical University. 198 (in Russian).
4. Kapranov I. V., Osinnykh V. Ya. (1977) Peculiar Features of High-Speed Hot Extrusion of High Precision Forming Tool. *Povyshenie Kachestva i Effektivnosti Izgotovleniia Tekhnologicheskoi Osnastki Metodami Plasticheskogo Deformirovaniia: Sb. Tezisev Vsesoiuz. Nauch.-Tekh. Konf.* [Improvement of Quality and Efficiency in Manufacturing of Machine-Tool Attachments While Using Deformation Methods. Book of Abstracts of All-Union Scientific Research Conference]. Tallinn, 125–129 (in Russian).
5. Ivanov K. M., Liasnikov A. V., Gumeniuk Iu. I., Matveev S. A. (2001) Investigation of Technological Capabilities for Cross-Sectional Extrusion Using Finite Element Method. *Metalloobrabotka*, 2, 24–27 (in Russian).
6. Ivanov K. M., Shevchenko V. S., Yurgenson E. E. (2000) *Finite Element Method for Technological Tasks of Metal Forming Processes*. Saint-Petersburg, Institute of Machine Building. 217 (in Russian).
7. Sogrishin Yu. P., Grishin L. G., Vorobiov V. M. (1978) *Die Stamping Using High-Speed Hammers*. Moscow, Maschinostroenie Publ. 164 (in Russian).
8. Rubchenya A. A., Denisik A. A., Gerasimenko A. A. (2017) Technology of Making Cutters for Road Machines. *Sovremennye Napravleniya v Proektirovanii, Stroitel'stve, Remonte i Soderzhanii Transportnykh Sooruzhenii: Materialy I Mezhdunar. Stud. Konf.* [Modern Directions in Designing, Construction, Repair and Maintenance of Transport Facilities: Proceedings of the I International Student Conference]. Minsk, Belarusian National Technical University, 172–177 (in Russian).
9. Kachanov I. V., Shary V. N., Roubchenya A. A., Vlasov V. V. (2016) *Road Milling Picks for Road and Mining Machines and the Method of its Manufacture*. Patent Republic of Belarus No 21535 (in Russian).
10. Roubchenya A. A. (2016) *Modeling of Plastic Flow of Metal with High-Speed Hot Extrusion of Road Milling Picks*. Minsk, Belarusian Scientific Research Institute “Transtekhnika”. 286 (in Russian).

Received: 05.10.2017

Accepted: 08.12.2017

Published online: 29.05.2018