

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЛЬНОЙ КОВКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ

С.И. Закарлюкин<sup>1</sup>, [direktor@metchiv.ru](mailto:direktor@metchiv.ru)

Г.И. Коваль<sup>2</sup>, [koval.gi@mail.ru](mailto:koval.gi@mail.ru)

<sup>1</sup> ООО «Металлургический институт передовых технологий», Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** На основе экспериментальных исследований радиальной ковки на РКМ SKK-14 в бойках с гладкими рабочими поверхностями, смещенными на парах взаимно перпендикулярных бойков друг относительно друга вдоль оси ковки на величину, превышающую длину рабочей поверхности бойка, предложена уточненная зависимость для определения диаметра заготовки при получении прямоугольных профилей.

Описан новый способ радиальной ковки прямоугольных профилей, при котором получение прямоугольных профилей осуществляется одной парой бойков с выпуклыми ручьями, второй парой бойков с гладкой рабочей поверхностью за несколько циклов деформации с поворотом заготовки вокруг ее оси после каждого цикла деформации на угол  $\pi/2$ .

Показана подтвержденная промышленными экспериментами эффективность применения этого способа за счет увеличения поперечной деформации металла, позволяющего снизить обжатие, смещаемый объем металла при формировании прямоугольных профилей из круглых исходных заготовок.

Приведено описание другого способа радиальной ковки прямоугольных профилей, устраняющего операцию поворота заготовки вокруг ее оси после каждого цикла деформации, при практически аналогичной эффективности первому способу, что доказано промышленными экспериментами. Суть этого способа заключается в использовании одной пары бойков, формирующей широкую грань прямоугольной полосы, со специальной шевронной формой рабочей поверхности, а другой пары бойков – с гладкой рабочей поверхностью.

Описано предложенное новое техническое решение с выполнением на бойках радиально-ковочной машины дополнительного участка, примыкающего к рабочей поверхности бойка и расположенного консольно его опорной поверхности, обеспечивающего направление деформируемой заготовки вдоль оси ковки в момент ее задачи в бойки.

Все разработанные технические решения применяются на практике.

**Ключевые слова:** радиальная ковка, полосовые профили, поперечная деформация, профилировка и конструкция бойков

**Для цитирования:** Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Совершенствование технологии радиальной ковки прямоугольных профилей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 2. С. 41–48. DOI: 10.14529/met240205

Original article  
DOI: 10.14529/met240205

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR RADIAL FORGING OF RECTANGULAR PROFILES

S.I. Zakarlyukin<sup>1</sup>, [direktor@metchiv.ru](mailto:direktor@metchiv.ru)

G.I. Koval<sup>2</sup>, [koval.gi@mail.ru](mailto:koval.gi@mail.ru)

<sup>1</sup> LLC “Metallurgical Institute of Advanced Technologies”, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** Based on experimental studies of radial forging on RKM SKK-14 in strikers with smooth working surfaces, offset on pairs of mutually perpendicular strikers relative to each other along the forging axis by an amount exceeding the length of the working surface of the striker, a refined dependence has been proposed for determining the diameter of the workpiece when obtaining rectangular profiles.

A new method of radial forging of rectangular profiles is described, in which the production of rectangular profiles is carried out by one pair of strikers with convex ridges, and a second pair of strikers with a smooth working surface, over several deformation cycles with the workpiece rotated after each deformation cycle by an angle of  $\pi/2$ .

The effectiveness of using this method, confirmed by industrial experiments, is shown by increasing the transverse deformation of the metal, which makes it possible to reduce the compression and the displaced volume of metal when forming rectangular profiles from round initial blanks.

A description is given of another method of radial forging of rectangular profiles, which eliminates the operation of turning the workpiece after each deformation cycle, with almost the same efficiency as the first method, which has been proven by industrial experiments. The essence of this method is to use one pair of strikers, forming a wide edge of a rectangular strip, with a special chevron shape of the working surface, and another pair of strikers with a smooth working surface.

The proposed new technical solution is described with the implementation of an additional section on the strikers of a radial forging machine, adjacent to the working surface of the striker and located cantilever to its supporting surface, ensuring the direction of the deformable workpiece along the forging axis at the time of its insertion into the strikers.

All developed technical solutions are applied in practice.

**Keywords:** radial forging, strip profiles, transverse deformation, profiling and design of strikers

**For citation:** Zakarlyukin S.I., Koval G.I. Improvement of technology for radial forging of rectangular profiles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(2):41–48. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240205

На радиально-ковочных машинах можно получать, наряду с круглыми [1–3] и шестигранными [1, 4, 5], прямоугольные профили [1].

При радиальной ковке предлагается применение двух способов получения прямоугольных профилей [1].

При первом способе получения прямоугольных профилей деформация заготовки осуществляется одновременно двумя парами взаимно перпендикулярных бойков с гладкими рабочими поверхностями, образующими зоны деформации, расположенные в одной плоскости. В этом случае деформация осуществляется по известному в обработке металлов давлением «правилу вписанных фигур». Иначе на получаемой заготовке образуются заковы (усы, заусенцы). При этом ширина рабочей поверхности бойка на калибрующем участке не может превышать размер стороны прямоугольного профиля. Это ограничивает технологические возможности способа по размерам используемых исходных заготовок и получаемых прямоугольных профилей.

При втором способе обжатие заготовки с получением прямоугольных профилей осуществляется двумя взаимно перпендикулярными парами бойков с гладкой рабочей поверхностью. При этом рабочие поверхности пар взаимно перпендикулярных бойков смещены друг относительно друга вдоль осиковки на величину, превышающую длину рабочей поверхности бойка. Смещение рабо-

чих поверхностей пар бойков вдоль осиковки на величину, превышающую длину рабочей поверхности бойков, дает возможность выполнять ширину рабочей поверхности бойков, превышающую размеры сторон получаемого прямоугольного профиля. Этим существенно расширяются технологические возможности радиальнойковки прямоугольных профилей по размерам используемых исходных заготовок и получаемых прямоугольных профилей.

При разработке рациональной технологии радиальнойковки прямоугольных профилей с применением второго способа важным является выбор минимального размера поперечного сечения исходных заготовок.

По данным работы [1], при радиальной ковке прямоугольных профилей практически отсутствует поперечная деформация деформируемой заготовки. При получении готового прямоугольного профиля с острыми углами значение диаметра исходной заготовки рекомендуется определять из соотношения

$$d_0 = \sqrt{b^2 + h^2},$$

где  $b$  и  $h$  – ширина и высота прямоугольного профиля.

Нашими экспериментами и опытно-промышленными ковками установлено наличие поперечной деформации по ковке прямоугольных профилей из круглой исходной заготовки. Диаметр исходной заготовки при получении прямоугольных профилей в зависи-

мости от марки стали следует вычислять с использованием соотношения

$$d_0 = \left( \sqrt{b^2 + h^2} \right) / (1,038 - 1,048).$$

Коэффициент уширения равен примерно 1,038–1,048.

Однако для получения прямоугольных профилей с большим отношением сторон для формирования малой стороны прямоугольного профиля требуется осуществление больших обжатий, проводящее к повышению числа проходов. При этом на пару бойков, формирующую широкую сторону прямоугольной полосы, действуют значительные усилияковки из-за большой ширины контактной поверхности.

Для повышения эффективности радиальнойковки прямоугольных профилей предложено для условий радиальнойковки использовать на одной паре бойков 1 выпуклые ручки, а другую пару бойков выполнять с гладкой рабочей поверхностью 2 (рис. 1) [6].

Выполнение обжатия одной парой бойков с выпуклыми ручьями с получением фасонного профиля позволяет снизить сопротивление деформируемого металла поперечной дефор-

мации. Металл, смещаемый по высоте заготовки, в значительной степени идет на увеличение ее ширины [7].

Согласно представленному рисунку (см. рис. 1) получение прямоугольной полосы 3 из круглой исходной заготовки 4 осуществляется за несколько циклов деформации. Каждый цикл деформации может включать несколько проходов в зависимости от размеров исходной круглой заготовки, готового прямоугольного профиля, марки деформируемого материала, определяющих усилияковки. В циклах деформации, показанных на рис. 1а, b, бойками 1 с выпуклыми ручьями формируют фасонный профиль. После поворота фасонного профиля на угол  $\pi/2$  сторона заготовки, сформированная бойками с выпуклыми ручьями, окажется напротив рабочей поверхности бойков с гладкой рабочей поверхностью. Последующая деформация фасонного профиля бойками с гладкой рабочей поверхностью 2 (рис. 1b, d), при которой контакт рабочей поверхности бойков осуществляется только по краям фасонного профиля, дает возможность из-за малой ширины контакта бойков с фасонным профилем и снижения трения, сдер-

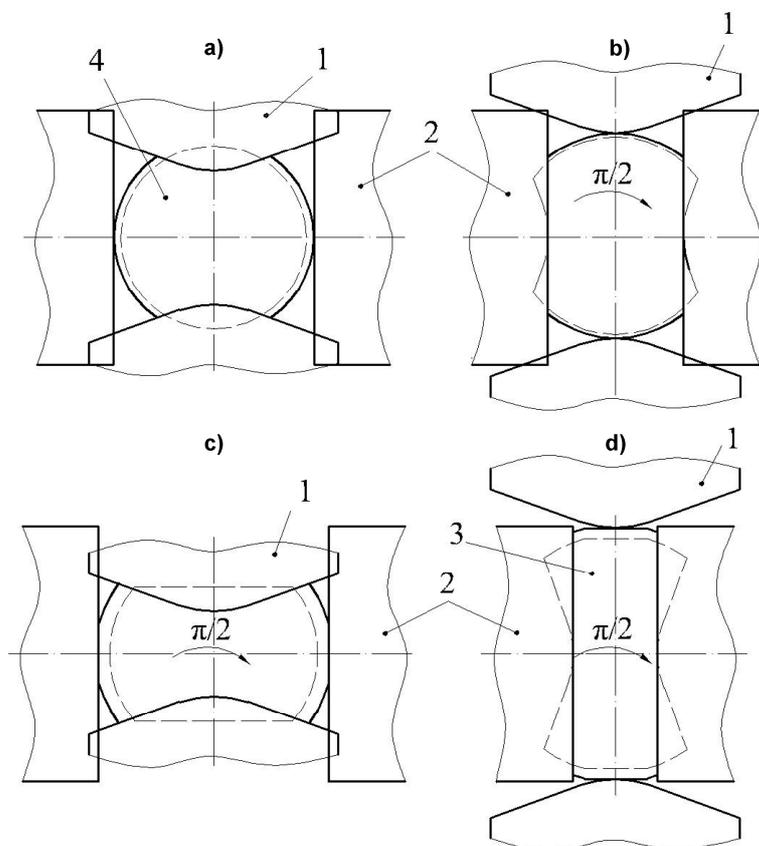


Рис. 1. Радиальнаяковка с применением бойков с выпуклыми ручьями  
Fig. 1. Radial forging using strikers with convex grooves

живающего течение металла в ширину, получить дополнительное уширение металла. Это подтверждается известными из обработки металлов давлением закономерностями, согласно которым с уменьшением ширины контактной поверхности полосы с инструментом увеличивается относительное уширение [7]. В то же время при обжатии заготовки бойками гладкой рабочей поверхностью течение металла из выпуклой части заготовки к ее центру, находящемуся на оси ковки, затруднено в связи с действием известного «закона наименьшего сопротивления». Следовательно, при обжатии заготовки, полученной в предыдущем цикле деформации бойками с выпуклыми ручьями, бойками с гладкой рабочей поверхностью указанная заготовка получает значительную поперечную деформацию.

Чередование обжатия плоской заготовки бойками с выпуклыми ручьями и обжатия фасонного профиля бойками с гладкой рабочей поверхностью позволяет существенно повысить смещение металла заготовки в направлении ее ширины.

Проведены промышленные экспериментальные исследования предложенного способа радиальнойковки с использованием РКМ SKK-14 при установке бойков с выпуклыми ручьями, имеющими угол наклона  $140^\circ$  и радиус при вершине выпуклого ручья  $R = 50$  мм (рис. 2). При ковке круглых исходных заготовок  $\varnothing 80$  мм и  $\varnothing 100$  мм получены прямоугольные профили соответственно  $37 \times 88$  мм и  $30 \times 112$  мм с диагоналями примерно рав-

ными 95 мм и 116 мм. Абсолютное уширение круглой заготовки составило 15 и 16 мм, коэффициент уширения – примерно 1,16–1,19.

Таким образом, при радиальной ковке круглых исходных заготовок с получением прямоугольных профилей при применении бойков с выпуклыми ручьями бойков, имеющих угол наклона  $140^\circ$  и радиус при вершине выпуклого ручья  $R = 50$  мм, по сравнению с использованием бойков с гладкой рабочей поверхностью коэффициент уширения увеличивается примерно на 10–12 %.

В целях дальнейшего совершенствования технологии получения прямоугольных профилей радиальнойковкой за счет устранения операции поворота заготовки предложено использовать одну пару бойков, формирующую широкую грань прямоугольной полосы, со специальной шевронной формой рабочей поверхности (рис. 3), а другую пару бойков – с гладкой рабочей поверхностью.

Рабочая поверхность бойка со специальной шевронной формой имеет два обжимных  $fghdkl$  участка и два калибрующих  $dhijk$  участка (рис. 3а–е). Обжимные участки выполнены шевронными с углом их наклона  $\beta$  к линии перпендикулярной оси бойка. Вершина шеврона (т.  $d$  и  $f$ ) каждого обжимного участка  $fghdkl$  направлена в сторону, противоположную примыкающему к нему калибрующему участку  $dhijk$ . Калибрующие участки  $dhijk$  расположены в одной плоскости, параллельной опорной поверхности бойка. Шевронные обжимные участки наклонены к калиб-



Рис. 2. Боек с выпуклыми ручьями  
Fig. 2. Striker with convex streams

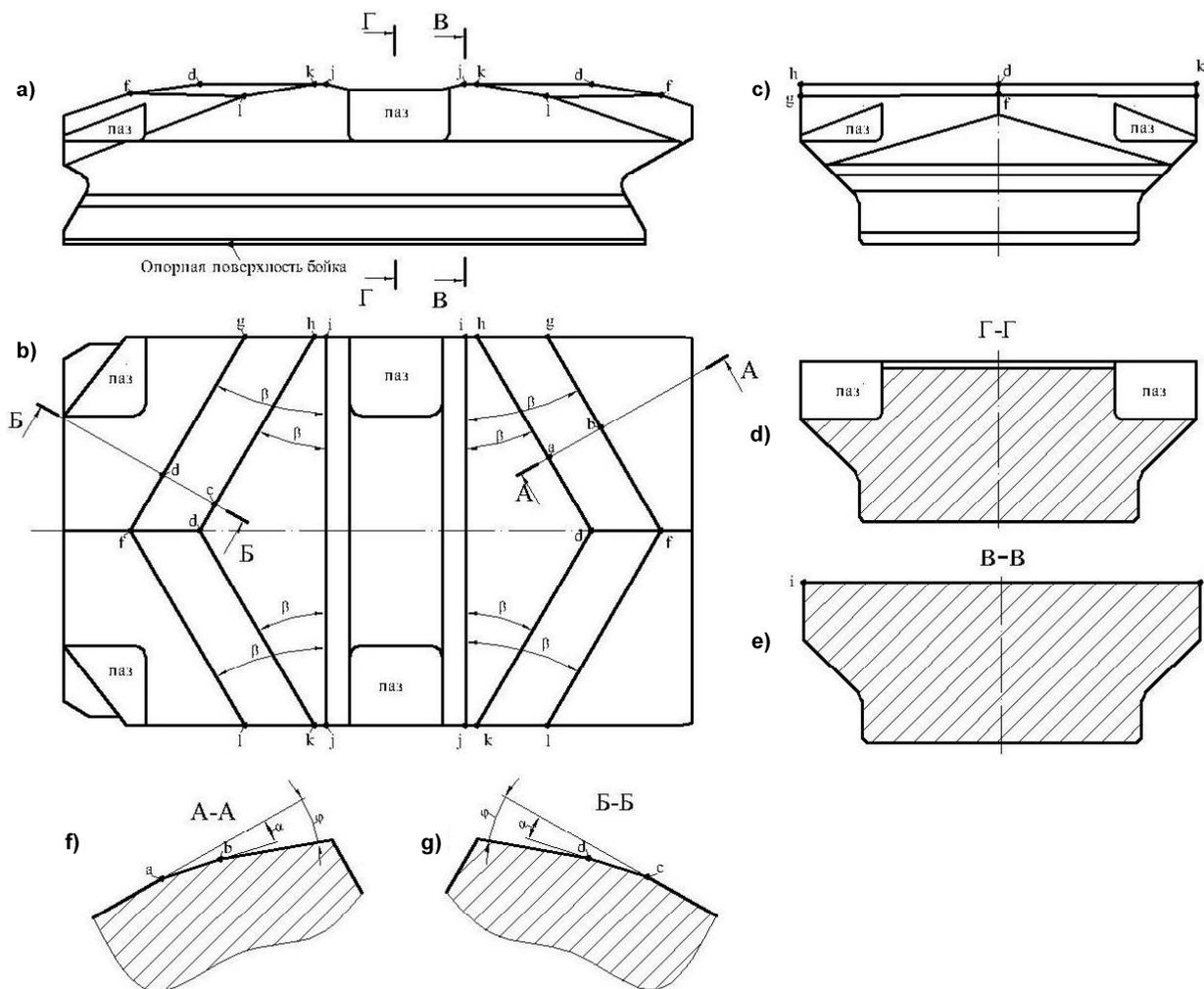


Рис. 3. Боек для радиальнойковки полос с шевронными обжимными участками  
 Fig. 3. Striker for radial forging of strips with chevron crimp sections

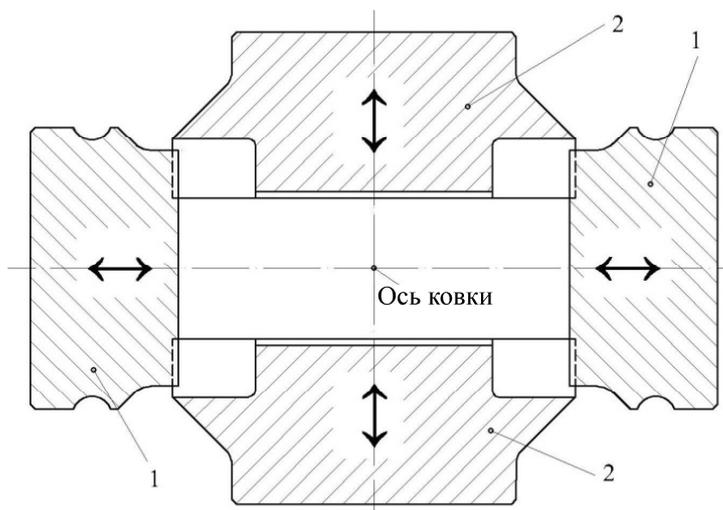


Рис. 4. Схема установки бойков дляковки прямоугольных профилей в ковочном блоке  
 Fig. 4. Scheme of installation of strikers for forging rectangular profiles in a forging block

рующим участкам под углом  $\alpha$  (рис. 3f, g). Кроме того, на рабочей поверхности бойка под углом  $\phi$  выполнены направляющие участки,

примыкающие к обжимным участкам  $fghdkl$  по линии  $gfl$ . Между двумя калибрующими участками  $dhijk$  и после расположенного сле-

ва направляющего участка выполнены пазы (рис. 3а–с, е), предназначенные для входа в них гладких рабочих поверхностей перпендикулярной пары бойков 1 (рис. 4), которые расположены в шахматном порядке по отношению к рабочим поверхностям шевронных бойков 2.

Применение шевронных бойков позволяет плоскостям обжимного участка осуществлять направленное перемещение металла заготовки при ее деформации, отличное от его перемещения вдоль осиковки. При деформации наклонными поверхностями металл течет в направлении линий, находящихся в плоскости, перпендикулярной плоскостям, образующим обжимной участок [8]. Подтверждением этого факта является также положение работы [9], согласно которому при прокатке «на угол» металл течет в направлении, перпендикулярном обжимной части инструмента. Обжимным участком на прокатных валках является поверхность, ограниченная углом захвата. При этом следует принимать во внимание положение работ [1, 7], согласно которым процесс прокатки по параметрам формоизменения аналогичен процессуковки наклонными плитами. Следовательно, при применении предлагаемого технического решения металл при его деформации течет в пересекающихся «елочкой» направлениях. Причем, учитывая известные закономерности течения металла при его деформации радиальной ковкой [7], металл течет в основном от калибрующего участка бойка вдоль длины обжимного участка.

Выполнение направления вершины шеврона в сторону, противоположную калиб-

рующему участку, позволяет «раздвигать» деформируемый металл и перемещать его в направлении, перпендикулярном плоскостям шевронного обжимного участка, т. е. в разные стороны под углом к оси бойка. Это в значительной степени увеличивает ширину получаемого полосового профиля.

Варьируя обжатием, углом  $\beta$  наклона шевронных обжимных участков к линии, перпендикулярной оси бойка, можно получать из одной исходной заготовки полосовые профили разной ширины или, наоборот, из разных исходных заготовок получать полосовые профили одной ширины. Этим расширяются технологические возможности радиальнойковки прямоугольных профилей.

Одновременно при разработке новых технологий и бойков для радиальнойковки полосовых профилей решена задача обеспечения направления деформируемой заготовки вдоль осиковки в момент задачи ее в бойки. Для этого разработано техническое решение [10], при котором на бойках выполняется дополнительный участок, примыкающий к рабочей поверхности бойка и расположенный консольно его опорной поверхности. Данное техническое решение может быть эффективно использовано и при радиальнойковке шестиугольных профилей [4, 5].

Проведено экспериментальное опробование новой технологии радиальнойковки прямоугольных профилей с применением разработанных и изготовленных бойков с углом наклона шевронной его части  $\beta = 30^\circ$  (рис. 5). При использовании исходных заготовок диаметром  $d_0 = 137\text{--}138$  мм получены прямо-



Рис. 5. Шевронный боек  
Fig. 5. Chevron striker

угольные полосы со сторонами 60 мм и 148 мм и диагональю 159,6 мм. Абсолютное уширение круглой заготовки составило 21,6–22,6 мм, коэффициент уширения – примерно 1,15–1,16.

Таким образом, при радиальной ковке круглых исходных заготовок с получением прямоугольных профилей при применении бойков с шевронными обжимными ручьями с углом наклона  $\beta = 30^\circ$  по сравнению с использованием бойков с гладкой рабочей поверхностью коэффициент уширения увеличивается примерно на 9–10 %.

Применение предложенных технических решений по технологиям радиальнойковки полосовых профилей и конструкциям бойкой для их реализации позволяет за счет уменьшения диаметра исходных заготовок снизить обжатие, смещаемый объем металла и в конечном итоге увеличить производительность радиальнойковки при получении прямоугольных профилей.

### Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований радиальнойковки на РКМ SKK-14 круглых исходных заготовок с получением прямоугольных профилей с использованием предложенных новых технических решений установлено:

– при применении двух пар бойков с гладкой рабочей поверхностью коэффициент уширения равен 1,038–1,048;

– при применении одной пары бойков с выпуклыми ручьями с углом наклона  $140^\circ$ , другой пары бойков с гладкой рабочей поверхностью коэффициент уширения равен 1,16–1,19.

– при применении одной пары бойков с шевронными обжимными ручьями с углом наклона  $\beta = 30^\circ$ , другой пары бойков с гладкой рабочей поверхностью коэффициент уширения равен 1,15–1,16.

Предложено техническое решение с выполнением на бойках дополнительного участка, примыкающего к рабочей поверхности бойка и расположенного консольно его опорной поверхности, обеспечивающего направление деформируемой заготовки вдоль осиковки в момент ее задачи в бойки.

Выполненные и принятые к практическому применению разработки позволяют за счет уменьшения диаметра исходных заготовок снизить обжатие, смещаемый объем металла, повысить точность задачи заготовки в бойки по осиковки и увеличить производительность радиальнойковки при получении прямоугольных профилей.

### Список литературы

1. Ковка на радиально-обжимных машинах / В.А. Тюрин, В.А. Лазоркин, И.А. Пospelов, Х.М. Флаховский; под общ. ред. В.А. Тюрина. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
2. Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Освоение технологииковки сортовых профилей на радиально-ковочной машине SKK-14 фирмы GFM // Международный научно-технический конгресс «ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии», Москва, 14–17 апреля 2014. М.: МИСиС, 2014. Ч. 2. С. 254–260.
3. Бурдуковский В.Г. Технология процессовковки: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. 348 с.
4. Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Применение радиальнойковки для получения шестигранных профилей // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. № 3. С. 31–33.
5. Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Совершенствование и развитие технологии радиальнойковки шестигранных профилей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2023. Т. 79, № 12. С. 991–998. DOI: 10.32339/0135-5910-2023-12-991-998
6. Пат. № 2614918. Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 21J 1/04. Способ радиальнойковки полосовых профилей / С.И. Закарлюкин, Г.И. Коваль, Е.А. Закарлюкина. № 2015111725; заявл. 31.03.2015; опубл. 27.10.2016. 8 с.
7. Тарновский И.Я. Формоизменение при пластической обработке металлов. М.: Металлургиздат, 1954. 534 с.
8. Радюченко Ю.С. Ротационное обжатие. М.: Машиностроение, 1972. 176 с.
9. Швейкин В.В., Тягунов В.А. Технология прокатного производства. Свердловск: Металлургиздат. Свердлов. отд-ние, 1956. 444 с.
10. Пат. РФ № 2636537. Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 21J 1/04. Инструмент для радиальнойковки / С.И. Закарлюкин, Г.И. Коваль. № 2016101298; заявл. 18.01.2016; опубл. 23.11.2017. 8 с.

### References

1. Tyurin V.A., Lazorkin V.A., Pospelov I.A., Flakhovskiy Kh.M. *Kovka na radial'no-obzhimnykh mashinakh* [Forging on radial crimping machines]. Moscow: Mashinostroenie; 1990. 256 p. (In Russ.)
2. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. [Mastering the technology of forging sectional profiles on a radial forging machine SKK-14 from GFM]. In: *Proceedings of the International science & technology congress "OMD 2014. The fundamental problems. Innovative materials and technologies"*. Moscow: MISIS; 2014. Part 2. P. 254–260. (In Russ.)
3. Burdukovskiy V.G. *Tekhnologiya protsessov kovki: ucheb. posobie* [Technology of forging processes: textbook]. Ekaterinburg: Ural University Publishing House; 2022. 348 p. (In Russ.)
4. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. Application of radial forging for receiving of hexagonal profiles. *Blanking productions in mechanical engineering*. 2014;(3):31–33. (In Russ.)
5. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. Improvement and development of technology for radial forging of hexagonal profiles. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2023;79(12):991–998. (In Russ.) DOI: 10.32339/0135-5910-2023-12-991-998
6. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I., Zakarlyukina E.A. *Sposob radial'noy kovki polosovykh profiley* [Method of radial forging of strip profiles]. Patent RF, no. 2614918, 2016. (In Russ.)
7. Tarnovskiy I.Ya. *Formoizmenenie pri plasticheskoy obrabotke metallov* [Shape change during plastic processing of metals]. Moscow: Metallurgizdat; 1954. 534 p. (In Russ.)
8. Radyuchenko Yu.S. *Rotatsionnoe obzhatie* [Rotational compression]. Moscow: Mashinostroenie; 1972. 176 p. (In Russ.)
9. Shveykin V.V., Tyagunov V.A. *Tekhnologiya prokatnogo proizvodstva* [Rolling production technology]. Sverdlovsk: Metallurgizdat. Sverdlovsk branch; 1956. 444 p. (In Russ.)
10. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. *Instrument dlya radial'noy kovki* [Tool for radial forging]. Patent RF, no. 2636537, 2017. (In Russ.)

### *Информация об авторах*

**Закарлюкин Сергей Иванович**, директор, ООО «Металлургический институт передовых технологий», Челябинск, Россия; direktor@metchiv.ru.

**Коваль Григорий Иванович**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; koval.gi@mail.ru.

### *Information about the authors*

**Sergey I. Zakarlyukin**, Director, LLC “Metallurgical Institute of Advanced Technologies”, Chelyabinsk, Russia; direktor@metchiv.ru.

**Grigoriy I. Koval**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof. of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; koval.gi@mail.ru.

*Статья поступила в редакцию 15.04.2024*

*The article was submitted 15.04.2024*