

# Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.778.1

DOI: 10.14529/met210406

## ПРИМЕНЕНИЕ РОЛИКОВОГО ВОЛОЧЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРОСТЫХ И ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ

*Л.В. Радионова, А.Е. Сарафанов*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Титановые сплавы и высоколегированные нержавеющие стали достаточно проблематично обрабатывать волочением в монолитных волоках. Связано это с особенностями трения скольжения на контакте «инструмент – обрабатываемый материал» и наличием тянущего усилия, приложенного к переднему концу проволоки в процессе пластической деформации. При деформации титановые сплавы сильно упрочняются с потерей пластических свойств. Это вызывает необходимость применять частые промежуточные отжиги. Роликовое волочение можно рассматривать как одно из перспективных направлений совершенствования технологии изготовления проволоки и фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов. В настоящей работе разрабатывается инструмент и технологии, обеспечивающие изготовление простых и фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов роликовым волочением. Предложены и приведены конструкции роликовых волок со смещенными по оси волочения парами горизонтальных и вертикальных роликов, позволяющие изготавливать проволоку простого и фасонного профилей диаметром от 0,5 до 12,0 мм. В роликовых волоках представленной конструкции можно получать круглый, прямоугольный, шестигранный и другие виды профилей, в том числе фасонные. Для этого могут быть использованы калибровки «круг – овал – круг», «круг – ромб – гладкая бочка» и другие. Показаны технологические решения по изготовлению шестигранного профиля  $S = 2,2$  мм из заготовки труднодеформируемых сплавов 09X16HЧБ, 12X18H10T, BT16 различного диаметра. Для повышения ресурса эксплуатации волок ролики, изготовленные из термообработанной стали марки X12MФ, рекомендовано упрочнять путем нанесения на рабочую поверхность функционального покрытия из сплава WC-10Co-4Cr детонационным напылением с последующим проплавлением этого слоя лазером. Исследования, проведенные на образцах, показали семикратное повышение износостойкости по сравнению с аналогичными, подвергнутыми только традиционной для X12MФ термической обработке в виде закалки с отпуском.

*Ключевые слова:* роликовая волока, проволока, фасонный профиль, волочение, труднодеформируемый сплав, волочильный стан.

Деформируемость – одно из технологических свойств сплавов, которое отражает способность материала принимать необходимую форму под влиянием внешних сил (нагрузки) без разрушения и при меньшем сопротивлении нагрузке [1]. В свою очередь технологическая деформируемость – это совокупность деформации, сопротивления деформации и других технологических характеристик конкретного процесса обработки давлением [2]. С точки зрения технологической деформируемости среди сплавов принято выделять труднодеформируемые и особотруднодеформируемые, однако четкого определения и по-

нимания, какие же именно сплавы относятся к этим видам, в литературе обнаружено не было. Связано это в том числе и с тем, что каждый конкретный процесс обработки металлов давлением имеет свои специфические особенности. Схема нагружения, применяемый инструмент, условия трения и т. п. могут по-разному влиять на процесс пластической деформации обрабатываемого материала. В качестве примера можно привести титановые сплавы, высоколегированные нержавеющие стали, которые достаточно проблематично обрабатывать волочением в монолитных волоках [3, 4]. Связано это с особенностями трения скольжения

на контакте «инструмент – обрабатываемый материал» и наличием тянущего усилия, приложенного к переднему концу проволоки в процессе пластической деформации.

При деформации титановые сплавы сильно упрочняются с потерей пластических свойств. Это вызывает необходимость применять частые промежуточные отжиги. Склонность к схватыванию при скольжении под давлением, пассивность поверхности по отношению ко многим смазкам приводит к тому, что процесс волочения в монолитной проволоке очищенной от окалины проволоки на основе титана практически невозможен. В отличие от других металлов оксидная пленка титана имеет небольшую толщину и не является серьезным препятствием для сваривания трущихся поверхностей.

Волочение высоколегированных нержавеющих сталей типа 12Х18Н10Т помимо высоких энергосиловых параметров процесса волочения сопровождается налипанием материала на инструмент ввиду неблагоприятных условий скольжения контактных поверхностей [5]. Это приводит к обрывности проволоки при волочении и повышенному износу инструмента.

При производстве фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов к описанным выше проблемам добавляется еще и требование по получению геометрии сечения проволоки. Скорости волочения, единичные и суммарные обжатия, применяемые для фасонной проволоки, значительно меньше, чем для круглой. При изготовлении фасонной проволоки металл чаще подвергают термической обработке, а для некоторых сложных профилей снятие наклепа осуществляют после каждого перехода. Установлено [6], что усилие волочения равновеликих сечений больше при

волочении фасонной проволоки, чем круглой. Так, например, усилие волочения фасонной Z-образной проволоки выше, чем круглой того же сечения, примерно на 40 %. Указанное обстоятельство необходимо учитывать при расчетах режимов волочения, так как в противном случае сила волочения может превысить временное сопротивление разрыву проволоки и процесс волочения будет невозможен.

Роликовое волочение можно рассматривать как одно из перспективных направлений совершенствования технологии изготовления проволоки [7]. В свою очередь роликовые волокна, применяемые для обработки фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов, должны обладать повышенной жесткостью конструкции, точностью настройки калибров, устойчивостью полосы в калибрах и износостойкостью рабочей поверхности роликов.

Целью настоящей работы является разработка инструмента и технологии, обеспечивающих изготовление простых и фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов роликовым волочением.

Кафедра «Процессы и машины обработки металлов давлением» ЮУрГУ имеет большой теоретический и практический опыт по проектированию, изготовлению и использованию роликовых волок со смещенными по оси волочения парами горизонтальных и вертикальных роликов [8–10]. Конструкция волок со смещенными парами рабочих роликов имеет определенные ограничения в геометрических соотношениях размеров рабочих роликов проволоки и условием устойчивого положения полосы во втором калибре, зависящим от расстояния между парами рабочих роликов. На рис. 1 приведена схема расположения роликов, а в табл. 1 – геометрические параметры волок в зависимости от обрабатываемой проволоки.

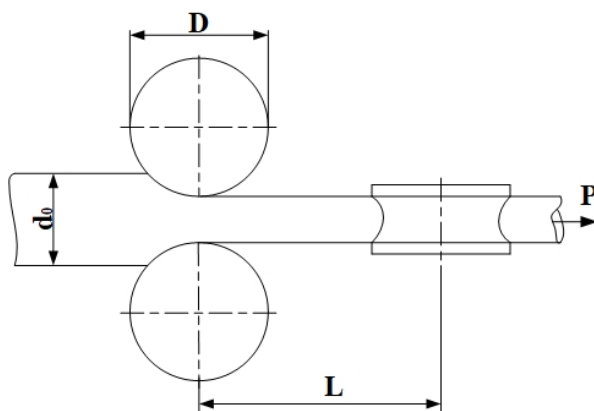


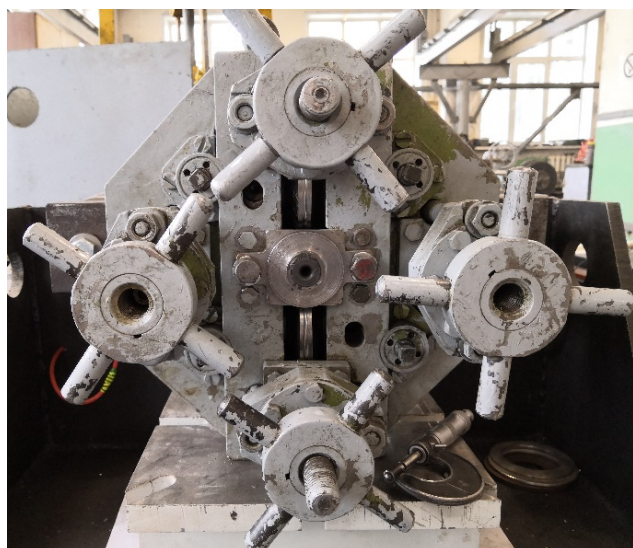
Рис. 1. Схема расположения роликов в волоке

Технические характеристики роликовых волок типа ВР

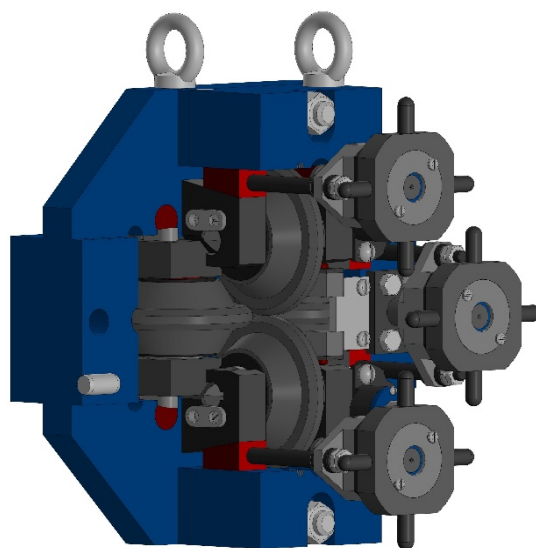
| Наименование параметра                               | ВР-180 | ВР-125 | ВР-75 |
|--|--------|--------|-------|
| Номинальный диаметр ролика $D$ , мм                  | 180    | 125    | 75    |
| Расстояние между парами роликов $L$ , мм             | 80     | 52     | 25    |
| Максимальное сечение заготовки $F$ , мм <sup>2</sup> | 110    | 30     | 5     |
| Максимальная нагрузка на ролик $N$ , кН              | 40     | 30     | 15    |

Роликовая волока ВР-180 (рис. 2) позволяет производить проволоку диаметром от 4,0 до 12,0 мм. Для изготовления проволоки диаметром от 2,0 до 6,0 мм применяется волока ВР-125, а для проволоки диаметром от 0,5 до 2,0 мм – волока ВР-75. Для изготовления проволоки диаметром 0,5...2,0 мм была

разработана еще одна конструкция роликовой волоки ВР-50 (рис. 3). Волока типа ВР-50 состоит из двух блоков. Каждый блок состоит из двух роликовых узлов, заключенных в полустанине, один из узлов имеет эксцентриковую ось, необходимую для радиальной регулировки положения ролика.



а)

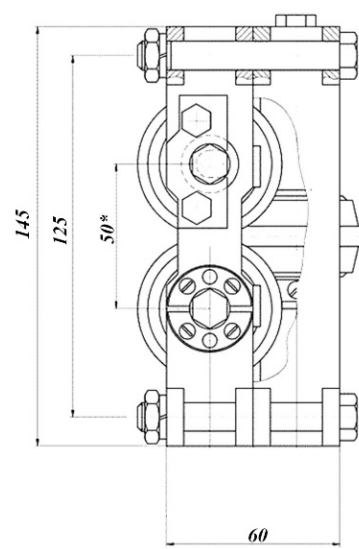


б)

Рис. 2. Роликовая волока типа ВР: а – фото; б – 3D-модель



а)



б)

Рис. 3. Роликовая волока типа ВР-50: а – фото; б – чертёж



В роликовых волоках представленной конструкции можно получать круглый, прямоугольный, шестигранный и другие виды профилей, в том числе фасонные. Для этого могут быть использованы калибровки «круг – овал – круг», «круг – ромб – гладкая бочка» и другие.

Используя калибровку «круг – ромб – гладкая бочка», представленную на рис. 4, в лабораторных условиях кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением» ЮУрГУ был получен профиль «шестигранник» из труднодеформируемых сплавов 09Х16НЧБ, 12Х18Н10Т и ВТ16. В роликовой волоке предложенной конструкции из круглой заготовки путем предварительного воло-

чения получали заготовки требуемого диаметра, а в последнем проходе осуществляли профилирование в «шестигранник». Круглое сечение заготовки деформировалось в ромб, а затем плоскими роликами обжималось в шестигранник. Для изготовления профилей использовался однократный волочильный стан В-1/650МБ с системой измерения и фиксации тянущего усилия (рис. 5) и роликовая волока ВР-125 (см. табл. 1). Технологические параметры процесса волочения шестигранного профиля  $S = 2,2$  мм приведены в табл. 2. Полученный профиль (рис. 6) соответствует требованиям нормативно-технической документации, а именно допуску по размеру  $\pm 0,2$  мм.

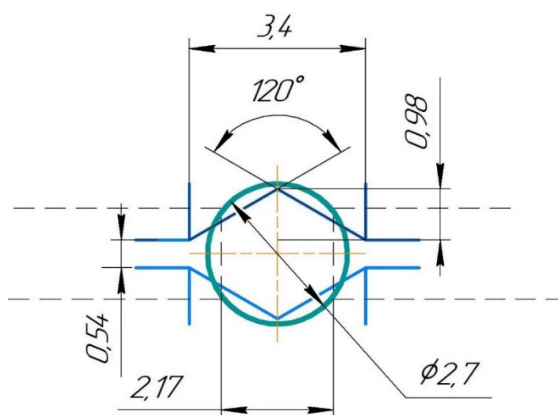











Рис. 4. Калибровка роликов волоки ВР-125 для изготовления шестигранного профиля



Рис. 5. Волочильный стан В-1/650МБ с системой измерения и фиксации тянущего усилия и роликовой волокой ВР-125

Технологические параметры процесса волочения  
шестигранного профиля  $S = 2,2$  мм из круглой заготовки

| Марка сплава | Проход   | Диаметр заготовки $d_0$ , мм | Степень деформации $\epsilon$ , % | Тянущее усилие $P$ , Н | Геометрические размеры профиля после волочения |                 |                    |                    |
|--------------|--|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--|-----------------|--------------------|--------------------|
|              |  |                              |                                   |                        | высота $h$ , мм                                | ширина $b$ , мм | диагональ $a$ , мм | диагональ $c$ , мм |
| 09X16HЧБ     | 1<br>   | 2,99                         | 10,4                              | 3360                   | 2,68   | 2,67            | 2,67               | 2,7                |
|              | 2<br>   | 2,68                         | 29,1                              | 3530                   | 2,12   | 2,06            | –                  | –                  |
| 08X18H10T    | 1<br>   | 3,47                         | 12,4                              | 4510                   | 3,04   | 2,99            | 2,96               | 2,98               |
|              | 2<br>   | 2,98                         | 22,5                              | 3350                   | 2,69   | 2,68            | 2,71               | 2,67               |
|              | 3<br>   | 2,71                         | 37,5                              | 3540                   | 2,17   | 2,16            | –                  | –                  |
| BT16         | 1<br>   | 4,05                         | 12,3                              | 5340                   | 3,55   | 3,55            | 3,56               | 3,54               |
|              | 2<br>   | 3,55                         | 27,4                              | 5400                   | 2,94   | 2,95            | 2,97               | 2,92               |
|              | 3<br>  | 2,95                         | 33,6                              | 2340                   | 2,69   | 2,68            | 2,69               | 2,72               |
|              | 4<br> | 2,69                         | 47,7                              | 3300                   | 2,12   | 2,16            | –                  | –                  |

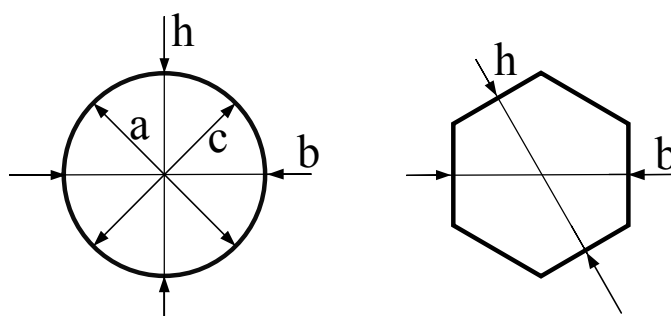


Рис. 6. Схема измерения геометрических параметров круглого и шестигранного профиля

Инструмент, обрабатывающий труднодеформируемые сплавы, работает в сложных условиях и достаточно быстро изнашивается. Поэтому при проектировании и изготовлении роликовых волок следует уделить повышенное внимание эксплуатационным свойствам и самих роликов. Для обеспечения высокой износостойкости ролики (рис. 7) изготавливаются из стали марки X12MФ с последующим нанесением на рабочую поверхность функционального покрытия из сплава WC-10Co-4Cr детонационным

напылением с последующим проплавлением этого слоя лазером [11]. Полученный рабочий слой (рис. 8) имеет твердость 1057 HV ( $> 67$  HRC).

Износостойкость роликов с функциональным покрытием, полученным детонационным нанесением сплава WC-10Co-4Cr с последующим проплавлением лазером, повысилась в 7 раз по сравнению с роликами, подвергнутыми традиционной для X12MФ термической обработке в виде закалки с отпуском [11].



Рис. 7. Ролики

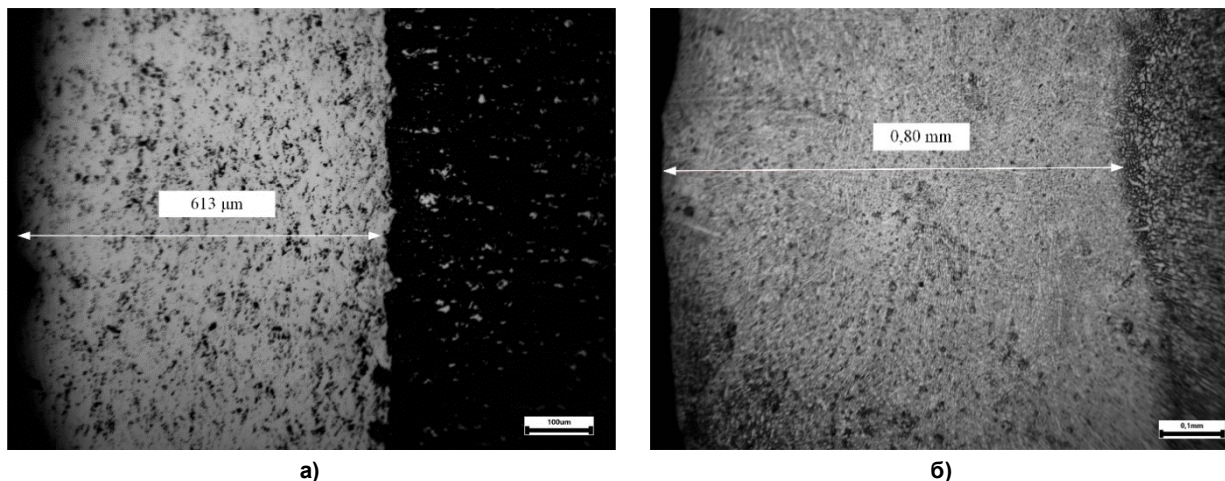


Рис. 8. Микроструктура рабочего слоя ролика: а – детонационное покрытие порошковым сплавом WC-10Co-4Cr; б – детонационное покрытие порошковым сплавом WC-10Co-4Cr после проплавления лазером

### Выводы

Предложены конструкции роликовых волок, позволяющие изготавливать проволоку простого и фасонного профилей диаметром от 0,5 до 12,0 мм. Показаны технологические решения по изготовлению шестигранного профиля  $S=2,2$  мм из заготовки труднодеформируемых сплавов 09X16HЧБ, 12X18H10T, BT16 различного диаметра. Для повышения ресурса эксплуатации волок ролики, изготовленные из термообработанной стали марки X12MФ, ре-

комендовано упрочнять путем нанесения на рабочую поверхность функционального покрытия из сплава WC-10Co-4Cr детонационным напылением с последующим проплавлением этого слоя лазером. Исследования, проведенные на образцах, показали семикратное повышение износостойкости по сравнению с аналогичными, подвергнутыми только традиционной для X12MФ термической обработке в виде закалки с отпуском.

### Литература

1. Глинер, Р.Е. Ранжирование металла по сопротивлению деформированию в механической обработке / Р.Е. Глинер, Е.Б. Катюхин // *Технология металлов*. – 2014. – № 11. – С. 9–13.
2. Оценки механической деформируемости сталей различной прочности с позиций энергетической диссипации / Р.Е. Глинер, В.Н. Дубинский, Е.Б. Катюхин, В.А. Пряничников // *Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия*. – 2017. – Т. 60 (9). – Р. 739–744. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-739-744
3. Анищенко, А.С. Волочение титановой проволоки в изотермических условиях / А.С. Анищенко // *Вопросы материаловедения*. – 1995. – Вып. 2. – С. 45–53.
4. Ресурсосбережение в метизном производстве: коллектив. моногр. / В.И. Зюзин, Н.А. Клековкина, В.А. Харитонов и др. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – 163 с.
5. Исаевич, Л.А. Исследование процесса получения высокопрочной проволоки из стали 12X18H10T волочением с электролитно-плазменной обработкой поверхности / Л.А. Исаевич,

## Обработка металлов давлением...

---

Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королев // Вестник Белорусского Национального технического университета. – 2005. – № 6. – С. 30–33.

6. Фастыковский, А.Р. Развитие научных основ и разработка совмещенных методов обработки металлов давлением, обеспечивающих экономию материальных и энергетических ресурсов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Фастыковский Андрей Ростиславович. – Новокузнецк, 2012. – 387 с.

7. Славин, В.С. Роликовые волокна бесстанинного типа: моногр. / В.С. Славин. – Магнитогорск: МаГУ, 2010. – 186 с.

8. Патент RU 2297293 C1. Способ волочения прямоугольных профилей в роликовой волоке / Б.В. Баричко, А.В. Выдрин. – № 2005138622/02; заявл. 12.12.2005; опубл. 20.04.2007.

9. Штер, А.А. Получение проволоки и фасонных профилей из сплавов на основе титана в роликовых волоках / А.А. Штер, Ю.Н. Попов, Б.В. Баричко // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – С. 88–92.

10. Храмков, Е.В. К вопросу проектирования роликовых волок со смещенными парами роликов / Е.В. Храмков, А.А. Штер, К.Ю. Яковлева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015 – Т. 15, № 4 – С. 128–134. DOI: 10.14529/met150417

11. Повышение износостойкости роликовых волок для производства проволоки из титановых сплавов / Л.В. Радионова, М.Н. Самодурова, А.Е. Сарафанов и др. // Metallurg. – 2020. – № 11. – С. 75–81.

**Радионова Людмила Владимировна**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; radionovalv@susu.ru, ORCID ID: 0000-0001-9587-2925.

**Сарафанов Александр Евгеньевич**, аспирант, старший преподаватель кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; sarafanovae@susu.ru.

*Поступила в редакцию 24 сентября 2021 г.*

---

DOI: 10.14529/met210406

## ROLLER DRAWING APPLICATION FOR PRODUCTION OF SIMPLE AND SHAPED PROFILES FROM HARD-TO-FORM ALLOYS

*L.V. Radionova, radionovalv@susu.ru, ORCID ID: 0000-0001-9587-2925,*

*A.E. Sarafanov, sarafanovae@susu.ru*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Titanium alloys and high-alloy stainless steels are quite problematic to process by drawing in monolithic dies. This is due to the features of sliding friction at the tool-work material contact and the presence of a pulling force applied to the front end of the wire during plastic deformation. During deformation, titanium alloys are strongly hardened with a loss of plastic properties. This necessitates the use of frequent intermediate anneals. This necessitates the use of frequent intermediate anneals. Roller drawing can be considered as one of the promising directions for improving the technology of manufacturing wire and shaped profiles from hard-to-form alloys. In this work, tools and technologies are being developed that ensure the production of simple and shaped profiles from hard-to-deform alloys by roller drawing. Designs of roller dies with pairs of horizontal and vertical rollers displaced along the drawing axis are proposed and presented, which make it possible to produce wire of simple and shaped profiles with a diameter of 0.5 to 12.0 mm. In the roller dies of the presented design, it is possible to obtain round, rectangular, hexagonal and other types of profiles, including

shaped ones. For this, the calibrations “circle – oval – circle”, “circle – diamond – smooth barrel” and others can be used. Shown are technological solutions for the manufacture of a hexagonal profile  $S = 2.2$  mm from a workpiece of hard-to-deform alloys AISI 316, 1 AISI 304, Ti3Al5Mo5V of various diameters. To increase the service life of the dies, the rollers made of heat-treated steel of the Kh12MF grade are recommended to be strengthened by applying a functional coating made of WC-10Co-4Cr alloy on the working surface by detonation spraying followed by melting of this layer with a laser. Studies carried out on the samples showed a sevenfold increase in wear resistance compared to similar ones subjected only to the traditional for X162CrMoV12 heat treatment in the form of quenching and tempering.

*Keywords:* roller die, wire, shaped profile, drawing, hard-to-form alloy, drawing mill.

### References

1. Gliner R.E., Katyukhin E.B. [Ranking of metal in terms of resistance to deformation in mechanical processing]. *Metal technology*, 2014, no. 11, pp. 9–13. (in Russ.)
2. Gliner R.E., Dubinskii V.N., Katyukhin E.B., Pryanichnikov V.A. Estimation of mechanical deformability of metals based on energy dissipation. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 2017, vol. 60 (9), pp. 739–744. (in Russ.) DOI: 10.17073/0368-0797-2017-9-739-744
3. Anischenko A.S. [Drawing titanium wire in isothermal conditions]. *Problems of materials science*, 1995, iss. 2, pp. 45–53. (in Russ.)
4. Zyuzin V.I., Klekovkin N.A., Kharitonov V.A. et al. *Resursosberezheniye v metiznom proizvodstve: kollektiv. monogr.* [Resource saving in hardware production: Collective monograph]. Magnitogorsk, MSTU, 2001. 163 p.
5. Isaevich L.A., Alekseev Yu.G., Korolev A.Yu. [Research of the process of obtaining high-strength wire from steel 12X18H10T by drawing with electrolytic-plasma surface treatment]. *Bulletin of the Belarusian National Technical University*, 2005, no. 6, pp. 30–33. (in Russ.)
6. Fastykovskiy A.R. *Razvitiye nauchnykh osnov i razrabotka sovmeshchennykh metodov obrabotki metallov davleniyem, obespechivayushchikh ekonomiyu material'nykh i energeticheskikh resursov: dis. d-ra tekhn. nauk* [The development of scientific foundations and the development of combined methods for processing metals by pressure, ensuring the economy of material and energy resources. Doct. sci. diss.]. Novokuznetsk, 2012. 387 p.
7. Slavin B.C. *Rolikovyye voloki besstaninnogo tipa: monogr.* [Roller dies of frameless type: monograph]. Magnitogorsk, MaSU, 2010. 186 p.
8. Barichko B.V., Vydrin A.V. *Sposob volocheniya pryamougol'nykh profiley v rolikovoy voloke* [Method of drawing rectangular profiles in a roller die]. Patent RU 2297293 C1, 2007.
9. Shter A.A., Popov Yu.N., Barichko B.V. [Obtaining wire and shaped profiles from alloys based on titanium in roller dies]. *Processing of solid and layered materials: interuniversity. Collection of scientific papers*. Magnitogorsk, MSTU, 1999, pp. 88–92. (in Russ.)
10. Khramkov E.V., Shter A.A., Yakovleva K.Yu. On the Issue of Designing Roller Dies with Staggered Pairs of Rollers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 128–134. (in Russ.) DOI: 10.14529/met150417
11. Radionova L.V., Samodurova M.N., Sarafanov A.E. et al. Elevation of the Wear Resistance of Roller Dies for the Production of Wires from Titanium Alloys. *Metallurgist*, 2021, vol. 64, no. 11-12, pp. 1188–1197. DOI: 10.1007/s11015-021-01104-1

*Received 24 September 2021*

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Радионова, Л.В. Применение роликового волочения при изготовлении простых и фасонных профилей из труднодеформируемых сплавов / Л.В. Радионова, А.Е. Сарафанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 48–55. DOI: 10.14529/met210406

### FOR CITATION

Radionova L.V., Sarafanov A.E. Roller Drawing Application for Production of Simple and Shaped Profiles from Hard-to-Form Alloys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 48–55. (in Russ.) DOI: 10.14529/met210406