

P A S S D E S I G N . R U



ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 18

Разработка и внедрение
обучающих систем для
подготовки студентов ВУЗов, ССУЗов
и повышения квалификации кадров

SiKE

SOFTWARE



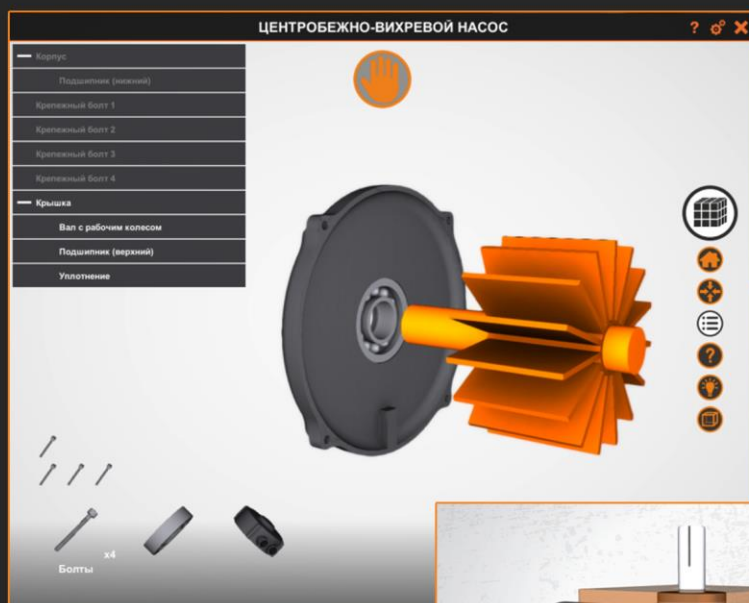
МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

3D АТЛАСЫ ОБОРУДОВАНИЯ
3D СБОРКА/РАЗБОРКА
АНИМАЦИОННЫЕ ФИЛЬМЫ
ТРЕНАЖЕРЫ ИМИТАТОРЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КУРСЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЛАКАТЫ

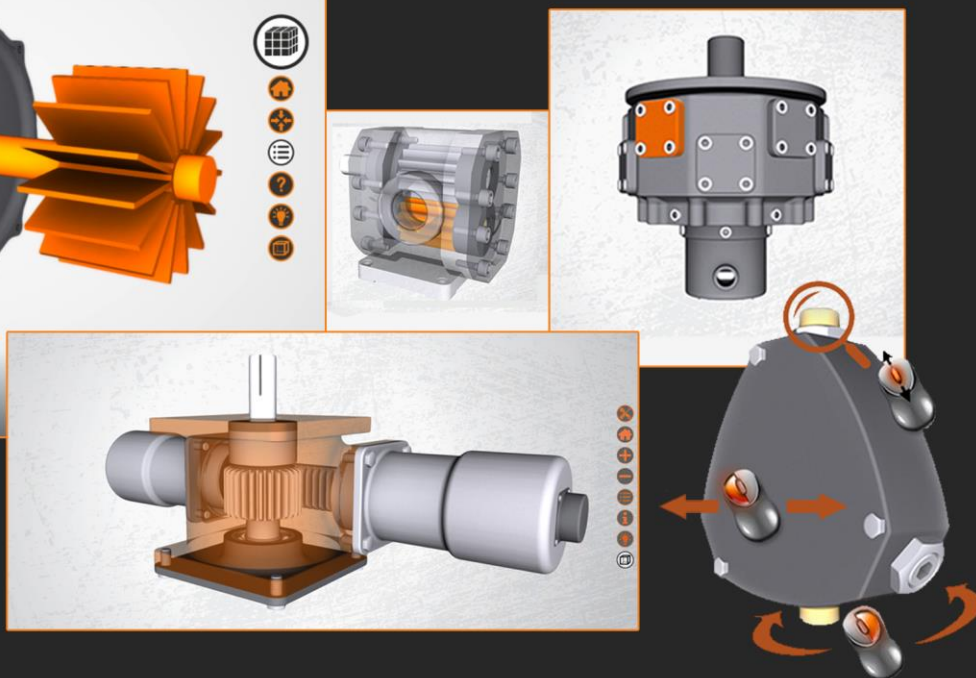
- Проблемы с текучкой кадров?
- Неоправданные затраты на обучение?
- Сотрудники долго и некачественно выполняют ремонт?

КОМПАНИЯ SIKE ПРЕДЛАГАЕТ УНИКАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА «ВИРТУАЛЬНЫЙ МЕХАНИК»



Быстрая подготовка
квалифицированного ремонтного
и обслуживающего персонала на
виртуальном оборудовании



Россия, г. Магнитогорск, 455023
Тел.: 8 (3519) 22-22-44, 22-04-05
E-mail: info@sike.ru
Сайт: sike.ru
Интернет-магазин: shop.sike.ru

«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Выпуск 18

Дата опубликования: 30.06.2021.

Издается в авторской редакции

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: Кинзин Дмитрий Иванович.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Д.И. Кинзин – кандидат технических наук, доцент.

Технический редактор:

С.А. Левандовский – кандидат технических наук, доцент.

Адрес редакции: 455000, г.Магнитогорск, ул. Ломоносова, 34, 8.

Адрес в Интернет: www.passdesign.ru.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций и входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77–51759 от 23.11.2012

ISSN 2308-6440

© Кинзин Дмитрий Иванович

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Сортопрокатное производство | 5 |
| <i>S.Spuzic, D.I.Kinzin</i> | |
| A CONTRIBUTION TO DIGITIZING THE DEFORMATION ZONE OF COMPLEX GEOMETRY | 5 |
| <i>О.В.Килишевский, В.Ю.Рубцов, Д.Е.Кавун, К.Е.Соколов</i> | |
| ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ КРУГЛОГО ... | 15 |
| Листопрокатное производство | 19 |
| <i>Д.Н.Чикишев</i> | |
| СНИЖЕНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ ТРЕБУЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ | 19 |
| Производство специальных видов проката | 25 |
| <i>Р.Э.Шахобутдинов</i> | |
| КАЛИБРОВКА ШАРОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ДВУХЗАХОДНЫМИ ВИНТОВЫМИ КАЛИБРАМИ СО СМЕЩЁННЫМ ЦЕНТРОМ РУЧЬЁВ ДЛЯ ПРОКАТКИ СТАЛЬНЫХ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ ДИАМЕТРОМ 70 ММ ПО ГОСТ 7524-2015. СООБЩЕНИЕ 1 ... | 25 |
| Сведения об авторах | 29 |

S.Spuzic

The University of South Australia

D.I.Kinzin

Nosov Magnitogorsk State Technical University

A CONTRIBUTION TO DIGITIZING THE DEFORMATION ZONE OF COMPLEX GEOMETRY

Abstract. The efforts for actualizing a breakthrough in technology and rising the level of the sustainability of manufacturing systems via implementation of I4 and I5 have given significant impetus to the concept of the Digital Twins. In the context of the rolling industry, a propitious version of a Digital Twin is a replica of the calibration (roll pass design). The calibration is an embodiment of the instructions for the realisation of the rolling process, including design, monitoring, control and maintenance. An aspect of fundamental importance in the calibration and in the design of digital twins is the mathematical definition of the geometry of the deformation zone and, in particular, digitizing the incoming and exiting contours of the rolled solids. The proposed method for digitizing the pass morphometry opens the gate for mobilizing the existing computing potentials and analytic theories for improving the sustainability of rolling systems.

Keywords: calibration (roll pass design), calibre, groove, deformation zone, digital twin, Chebyshev polynomials.

Introduction

The calibration (roll pass design) is an essential part of the technology of rolling long products. One of the central issues in calibration is the mathematical description of the geometry of the deformation zone and, in particular, digitizing the incoming and exiting contours of the rolled solids.

The difficulty of choosing an appropriate mathematical description is due to the great variety and complexity of the calibre forms, and it is inevitable that different approaches to this particular task are required to solve different calibration tasks.

The earliest and simplest approaches in this matter were to reduce the complex shape of the deformation zone to the simplest case of rolling a solid of a rectangular cross-section in the grooveless rolls. This allowed for greater simplicity of performing calculations and analyzing the results obtained in comparison with rolling in calibers, but also for the robust methodological approach, according to which the calculations are reduced to the deformation of a conventional rectangular solid rolled in grooveless (“flat”) rolls. This includes a widely known method of using the corresponding rectangles (e.g. the rectangles derived by maintaining the actual cross-section width while calculating the average height as the ratio of the cross-section area and the width).

The next approximation was to develop different calibration methods for specific calibre “systems” characterized by geometrical similarity of the contours occurring in a sequence of the rolling passes. This approach is still the most common for the calibration of the both simple and the complex geometries. Consideration of different calibre systems of a given shape is a big breakthrough in relation to the above method of the corresponding rectangular sections. Nevertheless, this method is very selective i.e. limited to analysing different geometries separately, without the possibility of extracting the analogous inferences). This limitation does not correspond to the current level of development in the sciences and engineering.

The isolation of individual calibration systems from an infinite variety of possible options deprives us of the ability to find optimal solutions that can lie beyond the apparent boundaries. In other words, a significant disadvantage of analysing the isolated groups is that the relations defined exclusively for a specific calibre system cannot be applied to other systems. Moreover, the precise details and boundaries of the calibre grooves are blurred thus allowing only for designing rolling passes that are practically possible, but not for designing the calibres and passes that are optimised.

For example, in the context of the calibre generalization, the rhombic calibre in Fig. 1 can be transformed into a round calibre by increasing the fillet radius. Ignoring the reality that both shapes are topologically equivalent prevents extrapolating and interpolating the interrelations obtained experimentally and/or theoretically from the broader family of the topologically equivalent geometries [1, 2].

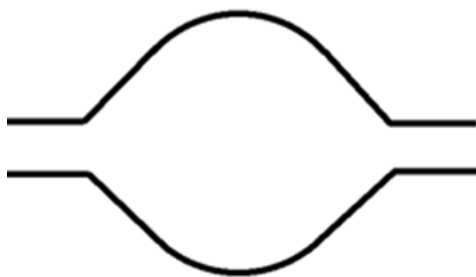


Fig. 1. Sample for discussing the calibre topology

Further development, prompted by extensive use of personal computers, led to defining the calibres by means of analytical functions. For example, V.S.Berkowski suggested using the Lamé curve, Eqn (1), to describe the calibres of a simple form.

$$\left| \frac{X}{h} \right|^\alpha + \left| \frac{Y}{b} \right|^\beta = 1. \quad (1)$$

This approach allows for defining a wide variety of geometries with sufficient accuracy (Fig. 2).

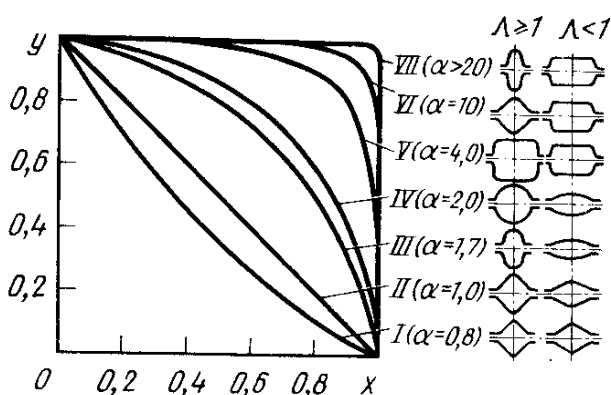


Fig. 2. Analytic description of simple geometries

Despite the apparent simplicity and elegance, this solution is associated with significant difficulties in calculating various calibration parameters. For example, calculating the calibre area involves a gamma function, which requires decomposing the function into polynomials. In addition, there are subtle deviations from the ideal forms defined by Eqn (1) which in practice result in significant effects such as preventing the calibre overfill, mitigating the extreme wear, etc.

For that reason, various authors suggested using partial functions to describe the calibre segments for both the simple and the complex geometries (Fig. 3).

The disadvantages of such approach are not only the complexity, but also the inability to embrace in the common observation space the calibres that otherwise belong to the same system.

In attempt to overcome these problems, a method was proposed for describing the calibres using vectors (Fig. 4).

This method allows for considerable accuracy with a large number of vectors and is well suited for computerised analyses of the broad variety of simple geometries. This straightforward method allows for adjusting individual vectors, which allows accounting for local changes in the shape and the wear of the groove contours [4].

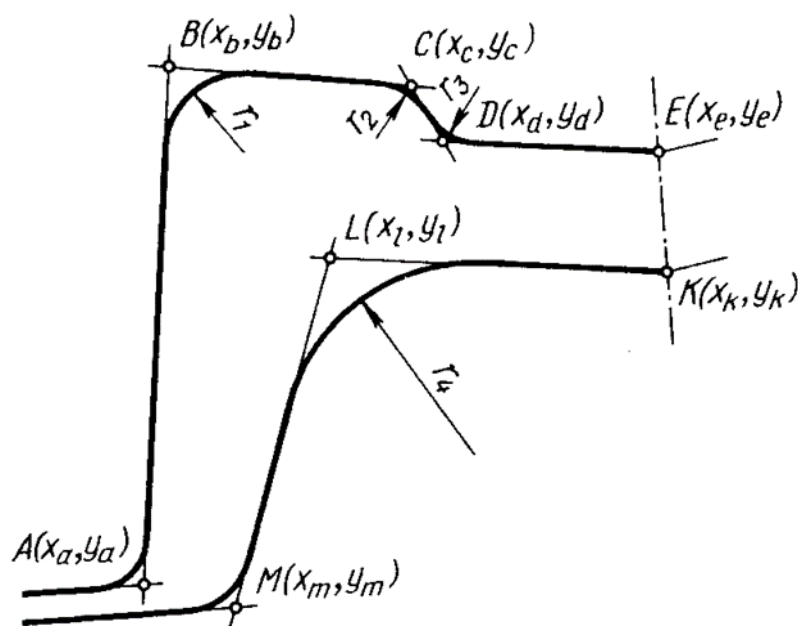


Fig. 3. Description using node dots and cuspous curves

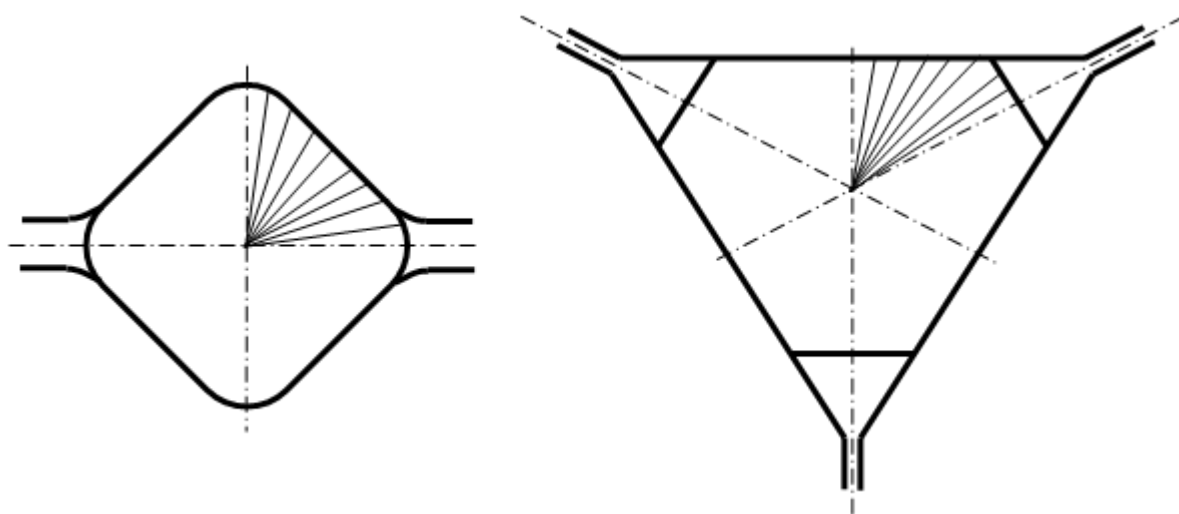


Fig. 4. Vector description of the calibres [4]

In general, all above presented approaches imply that different methods of description are required to solve different tasks. Furthermore, it is possible to combine these different methods of description and integrate them in a hybrid models useful for solving a variety of the optimization problems.

More recently, it has been proposed that the category of simple symmetrical grooves can be efficiently defined using Chebyshev polynomials yielding the same advantages as the vector method [5]. In addition to enabling the convenient calculations of the calibre parameters, this approach is applicable also to complex symmetrical geometries via convenient mathematical manipulations [5].

In the pursuit for devising a generic transformation for the broader variety of the calibres including the asymmetric cases, the method embracing most if not all geometries of a practical significance is proposed below.

Rationale

The contemporary science and engineering are characterised by an impressive development of the information processors propelled by the so called Information Technology and the Computer Science, which together resulted in the accelerated accumulation of industrial records collected from the actual manufacturing processes.

The efforts to improve the industrial systems led to evolving the concept of digital twin-based intelligent manufacturing through the integration of artificial intelligence, Internet of things, big data, cloud computing, information communication, to finally realize the online machine learning applications within the I4 and I5 systems [6-8].

In the case of the rolling technology, this means that the possibility of extracting the new useful knowledge by analysing the immense repositories of industrial records has become a certainty. The suitable route for applying big data analytics and constructing the digital twins includes digitizing the industrial records.

A significant number of variables defining a rolling mill, the operation system and the rolling process itself (such as the tool dimensions, the distances along the rolling line, the number of the available passes, the temperatures, velocity, roll separating force and torque, the yield, productivity, the duration of the delays, the resource consumption data, etc.) are already recorded in digital format. However, the present format of the digital data defining the deformation zone parameters, in particular the morphometry of the entry and the exit cross-sections of the rolled solid needs to be translated into a more generic format. This is because the existing dimensioning conventions, and indeed the geometries involved in manufacturing the similar products, differ to an extent that makes the relevant industrial records mutually incompatible from the point of view of constructing a database suitable for the statistical analyses.

Levandovskij [9] and Mikhailenko et al. [10] discussed the issues that emerge when the pass geometry is described using mathematical terms. While the former has addressed the degree of discretization needed for sufficient representing the groove features, the later proposed fractioning the pass contour in the three-dimensional space.

In fact, there is no need for introducing the 3-dimensional space since the rolling pass is, for the most of analytic purposes, defined sufficiently by the entry and the exit cross-sections and by the roll diameter. However, the simple analytic functions (a line, an arc, a parabola) are not sufficient for identifying possible optimised details of the pass contour.

An additional issue of significance for controlling the deformation zone is the gradual change in the groove morphometry due to continuous wear across the interface of the tool – the roll – and the rolled material. The curves defining the profiles of the new and the worn surface need to be defined using the same mathematical form. In this way, the tribological variables can be correlated with the mathematical functions describing the change in the groove contour. From a purely morphometric viewpoint, given other the same, the change in the groove contour due to the wear can be correlated to the initial definition of the deformation zone, i.e. the definition of the unworn pass.

With having in mind the above, a viable solution for double symmetrical shapes and for moderately complex cases with one axis of symmetry have been presented in [5]. In the following section one solution for the more complex asymmetrical geometries is discussed.

A uniform procedure for defining the deformation zone morphometry

As outlined in [6] the deformation zone is sufficiently defined by the entry and the exit cross-sections of the rolled solid and by the relevant measure of the roll diameters. While for the simple cases discussed in [6] the orientation of the roll diameter(s) relative to the cross-section geometry (or vice-versa) is straightforward, this orientation requires an elaboration for the asymmetrical cas-

es. Figs. 5 to 9 provide illustrations for the proposed new method of solving this problem. For the simplicity, the two-roll configuration is used, nevertheless, in the case of a three or four roll configurations the procedure for defining the diameter orientation is analogous to the case of two-rolls.

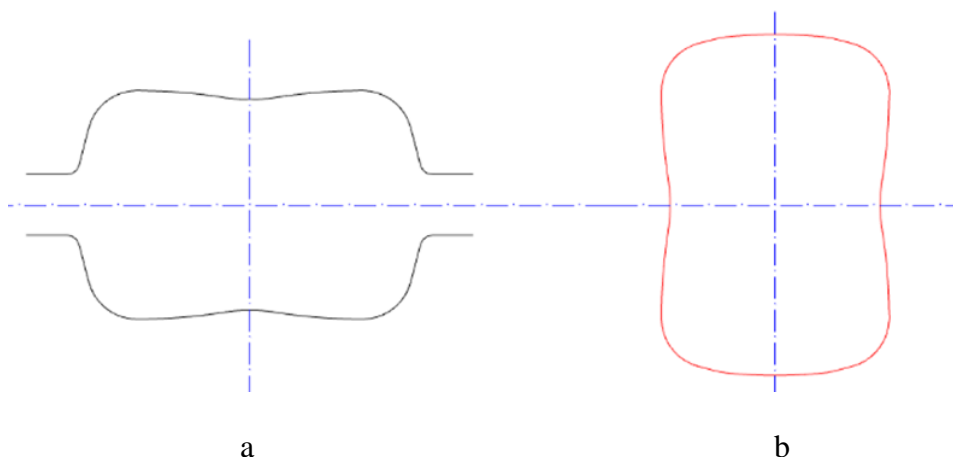


Fig. 5. The initial double symmetrical calibre (a), and the cross-section contour after rotating it for 90° (b)

The cross-section contour of the solid produced during the 1st pass in the double symmetrical «box» calibre (Fig. 5) is entered during the 2nd pass into the asymmetrical calibre shown in Fig. 6.

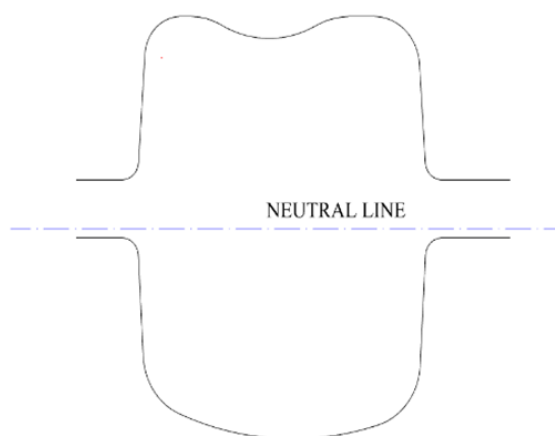


Fig. 6. The calibre where the exit cross-section is formed during the second pass

The cross-section contour entering the 2nd pass is defined by the contour positioned in the 1st quadrant. The contour exiting the 2nd pass needs to be positioned in the coordinate system in order to define its partition relative to the initial coordinate system. The horizontal axis could be selected to coincide with the so-called «calibre neutral line» (N.L.) yet, as shown in Fig. 7, there is an orientation discrepancy between the neutral line and the initial coordinates. The two-dimensional scheme in Fig. 7 shows an overlay in which the entering contour is superimposed on the cross section of the calibre grooves at the instant of the first contact.

It should be noted that the locations of the initial contact points and the orientation of the entering contour are based on a compromise, and in reality, do not necessarily coincide perfectly with their actual configuration in the deformation zone. The disposition presented in Fig. 7 is based on mathematical idealisation of gripping a rigid two-dimensional groove contours shifted to the equal distances from the calibre neutral line. The entering «rigid» cross-section assumes the position that allows for minimising the calibre gap under the condition that no part of the involved contours is deformed.

To eliminate this misalignment, the complete Fig. 7 is rotated counter-clockwise through the angle defined by the vertex P and the conjoint axes marked in blue colour. The rotation centre is at the initial origin defined in Fig. 5 by the intercept of the axes of symmetry.

This allows uncovering a feasible position for the exit cross-section in the initial coordinate system. This is shown in Fig. 8 and 9, where the box cross-section assumes its original position. The pass coordinate system then allows for dividing the exit cross-section contour according to the procedure defined in [5]. The orientation (angle) for the groove roll diameter is defined relative to the vertical coordinate.

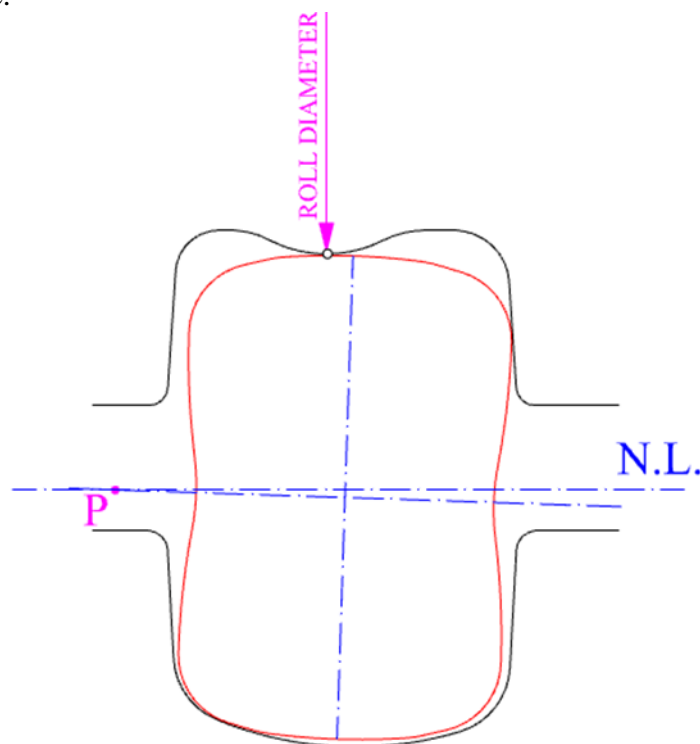


Fig. 7. First contact at the entry of the deformation zone in the 2nd pass

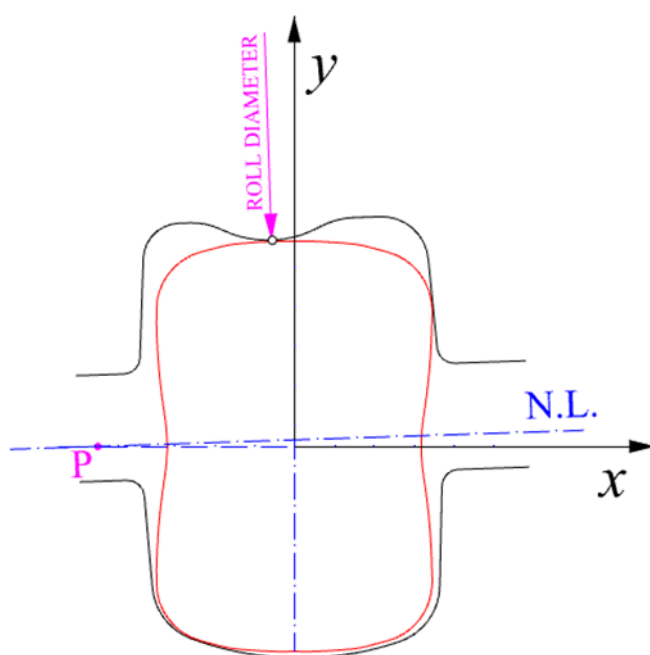


Fig. 8. First contact at the entry of the deformation zone and the groove inclination to fit the position of the entry contour in the coordinate system

The following asymmetric passes downstream the rolling line are positioned analogously by holding onto the axes of the initial box groove (the starting double symmetrical case) while rotating the entry & exit cross-sections pair locked into their grip-contact points.

During the process of finding the contact points between the entering cross-section and the calibre, the entering contour is been rotated until maximum four and minimum two contact points are established. In the next step, both contours are rotated backwards about the origin (0;0) of the initial coordinates (defined in the antecedent contour) until they return to the initial position. The procedure for positioning the next following pass is illustrated in the Appendix.

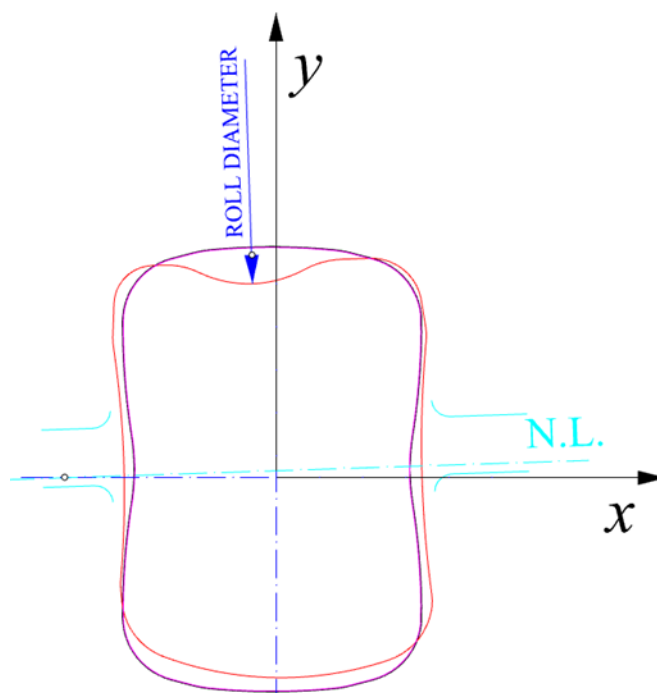


Fig. 9. The exit cross-section (coloured in red) positioned consistently with the coordinates of the entering box cross-section

The described manipulation allows for portioning both entry and the exit cross section in the four quadrants, as well as for defining the orientation angles for the roll diameters for each of the passes.

The digitizing is then finalised by applying the procedure explained in [5] onto each of the four portions of the contour separately. Each portion starts at its intercept with the y-axis and ends as explained in [5].

After including other variables (chemical composition, temperatures, velocities, rolling loads, the tool-roll-characteristics, etc.) the order of the vector dimensions reaches the level of 10^2 .

The basic principles of calibration in rolling technology allow for routinely deriving the details of the groove contour transition to the roll collars – the light-blue coloured roll gap (roll clearance) in Fig. 9 – while maintaining the optimised pass morphometry inferred by analysing the digitized database.

Conclusions

The efforts for actualizing a breakthrough in technology and rising the level of the sustainability of manufacturing systems via implementation of I4 and I5 have given significant impetus to the concept of the Digital Twins. In the context of the rolling industry, a propitious version of Digital Twin is a replica of calibration which is the embodiment of the instructions for the realisation of the rolling process, including the design, monitoring, control and maintenance.

While attracting strong interest from the industry (the market is forecasted to reach over \$15 billion by 2023) Digital Twin related engineering research is in its infancy [6], and hence the need for the contributions such as presented in this manuscript. An aspect of fundamental importance in the calibration and in the design of Digital Twins is the mathematical definition of the deformation zone geometry and, in particular, digitizing the incoming and exiting contours of the rolled solids.

The proposed method for digitizing the pass morphometry opens the gate for mobilizing the existing computing potentials and analytic theories and apply them for improving the sustainability of rolling systems that lie in the heart of the largest known industries: the intermediate processing of engineering materials.

It is significant to note that the proposed method conforms also to the simple double symmetrical geometries, thus eliminating the barriers for analysing the wide range of calibration cases within the same space of observations.

The outlook of needing the vectors that comprise over hundred components is arguably repulsing in the eyes of a human analyst. However, these vectors are not designed for processing by the human minds—they are intended for the analyses performed by the Artificial Intelligence. Although, we, the humans, are able of visualizing only four or at most six dimensional phenomena, we are capable of visualizing, designing and employing, the machine learning tools that can analyse multi-dimensional vectors and unravel the new knowledge buried in the myriad of the industrial records.

References

1. Минкин А.В. Расчет систем вытяжных калибров. М.: Металлургия, 1989. 207 с.
2. Смирнов В.К., Шилов Ю.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: Металлургия, 1987. 368 с.
3. Берковский В.С., Жадан В.Т., Шишко В.Б. Аналитическое описание формы калибров // Тр. ин-та / Мос. ин-т стали и сплавов. 1979. Вып. 118. С. 13–18.
4. Эффективность деформации сортовых профилей / С.А.Тулупов, Г.С.Гун, В.Д.Онискив и др. М.: Металлургия, 1990. 280 с.
5. Spuzic S. Translating Morphometric Information About the Rolling Passes Into a Structured Database // Калибровочное бюро. 2020. №17. С. 5–12. URL: <http://passdesign.ru/number17> (дата обращения: 30.06.2021).
6. Lu Y., Liu C., I-Kai Wang K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol 61, 2020. 101837, ISSN 0736-5845. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>.
7. Fahle S., Prinz C., Kuhlenkötter B. Systematic review on machine learning (ML) methods for manufacturing processes – Identifying artificial intelligence (AI) methods for field application // Procedia CIRP, vol 93, 2020. P. 413–418, ISSN 2212-8271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.109>.
8. Kotsiopoulos T., Sarigiannidis P., Ioannidis D., Tzovaras D. Machine Learning and Deep Learning in smart manufacturing: The Smart Grid paradigm // Computer Science Review, vol 40, 2021. 100341. ISSN 1574-0137. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100341>.
9. Левандовский С.А. К вопросу о дискретизации описания формы калибров // Калибровочное Бюро. 2013. №1. С. 56–65. URL: <http://passdesign.ru/number1> (дата обращения: 30.06.2021).
10. Mikhailenko A.M., Shvarts D.L., Nepryakhin S.O. Generalized Model of Section Two-Roll Rolling – Geometry of the Zone of Deformation // Materials Science Forum, vol 946, 2018. P. 761–767.

Acknowledgement: The work on this manuscript has been supported by the STEM organizational unit at the University of South Australia.

Appendix

Figs. I to IV illustrate the pass orientation procedure for the third pass.

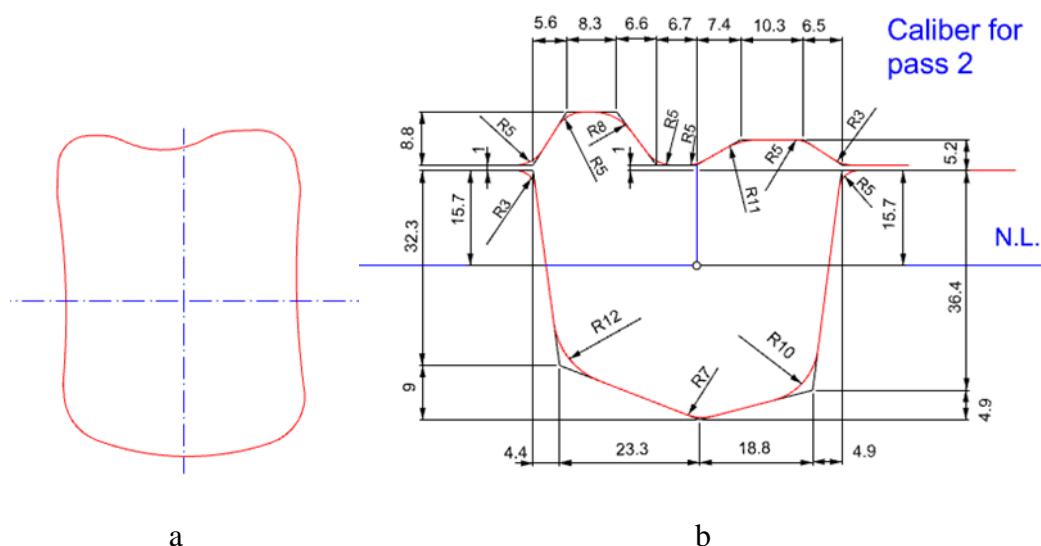


Fig. I. The entry contour (a) and the 3rd calibre (b)

Note that the coordinates in Fig. Ia coincide with the coordinates of the initial double symmetrical contour (shown in the Figs. 5b and 9 in the manuscript body). The solid cross-section produced in the first asymmetrical calibre (Fig. 6 in the manuscript body) is entered into the asymmetrical calibre №3 as shown in Fig. II.

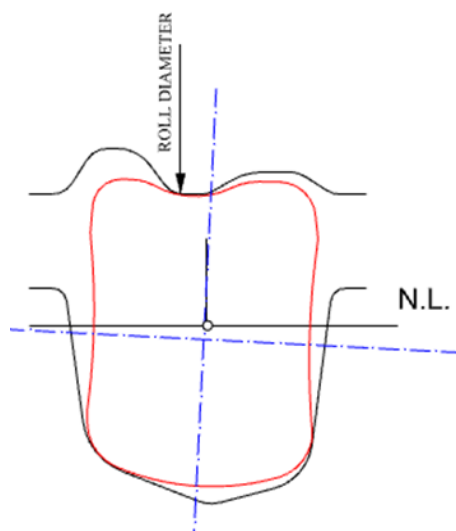


Fig. II. The position of the entry cross-section at the instant of the first contact with the calibre.

Note that the complete Fig. II is yet to be rotated in order to assume the orientation required by the axes of the initial double symmetrical contour

For the 3rd pass, the orientation of the coordinates needs to be identical to the pass 1 and pass 2 coordinates (shown in the Fig. 5b in the manuscript body). The initial horizontal axis of the calibre 3 coincides with so-called «calibre neutral line». Since the initial position of the entry contour is defined by the points of the first contact, the counter-clock rotation of the configuration shown in Fig. II is needed to orient the x -axis into the horizontal position (and the y -axis into the vertical position).

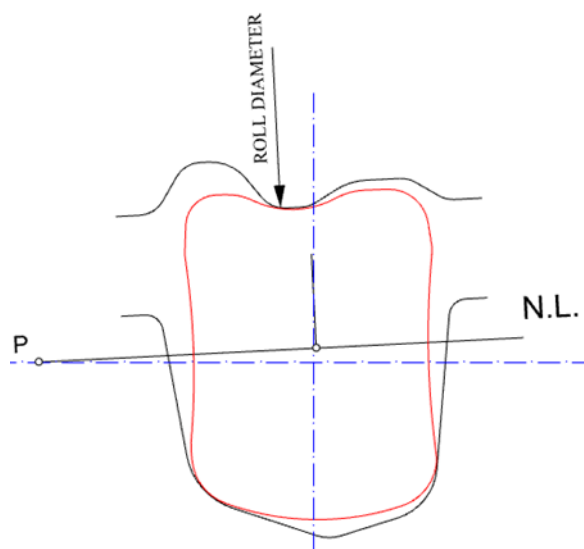


Fig. III. First contact at the entry of the calibre 3 deformation zone;
the orientation of both entry contour and the calibre 3 is rotated to match the orientation
of the initial double symmetrical contour

This leads to uncovering a feasible solution for the orientation of the exit cross-section shown in Fig. IV in red colour. The pass coordinate system then allows for partitioning the exit contour as specified in reference [5]. The orientation (angle) for the calibre 3 roll diameter is defined relative to the vertical coordinate.

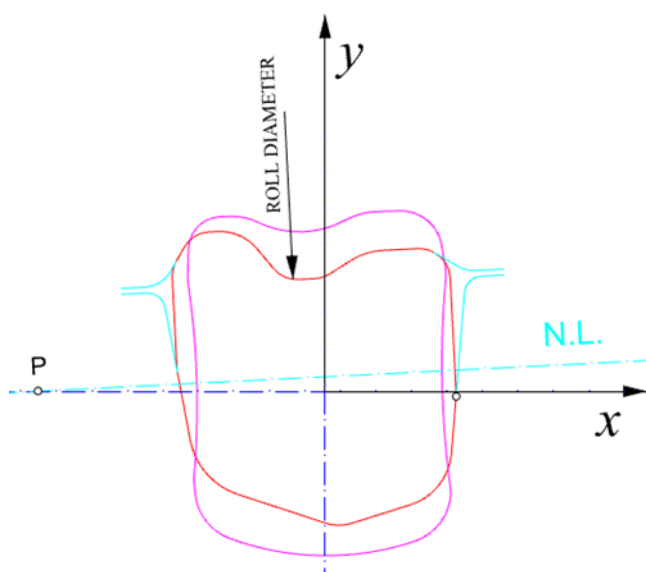


Fig. IV. Contour at the entry and the exit of the deformation zone showing the groove
inclination to fit the orientation of the initial double symmetrical contour

The point on the groove contour at which the roll diameter is measured, is selected as the point of the first contact resulting in the smallest diameter value. When the nominal roll diameters are not all equal, then the analogous procedure is required to define each roll diameter.

Digitizing the light-blue (cyan) coloured segments is not described in the above procedure. The basic calibration design routines allow for deciding about such details. Notwithstanding, the analogous procedure allows for digitizing the complete groove including the roll gap if the analysis requires so.

О.В.Килишевский, В.Ю.Рубцов, Д.Е.Кавун, К.Е.Соколов
АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ КРУГЛОГО

Аннотация. На АО «ЕВРАЗ НТМК» в цехе прокатки широкополочных балок была освоена технология по перекату круглой заготовки различных диаметров в квадратную, что позволило уменьшать остатки неликвидной продукции цеха. Технология основана на использовании чередования универсальных и двухвалковых калибров, что позволяет производить устойчивый прокат. Также заготовка, полученная данным способом, имеет ряд преимуществ по макроструктуре.

Ключевые слова: заготовка круглого сечения, заготовка квадратного сечения, цех прокатки широкополочных балок, схема прокатки, коэффициент вытяжки, макроструктура металла.

Производство проката прямоугольного сечения может осуществляться на большинстве типе станов продольной прокатки, включая листовые и сортовые. Ни для кого не секрет, что по различным технологическим причинам возможно производство некондиционной продукции. Для проката круглого сечения причинами несоответствия могут служить следующие причины:

- овальность заготовки, превышающая требования стандарта на круглое сечение;
- несоответствие макроструктуры, химического состава требованиям заказчика;
- наличие поверхностных дефектов, выходящих за пределы допусков.

В таком случае произведенной заготовке чаще всего меняют целевое назначение и отгружают по другим заказам. Иногда данное мероприятие невозможно осуществить, к примеру, трубная заготовка, круглая заготовка конструкционного назначения или заготовка для машиностроения обладают принципиальным отличием как по химическому составу, так и по требуемой предельным отклонениям, макроструктуре, загрязненности стали неметаллическими включениями, в данном случае металл за отсутствием возможности его реализации отправляется в переплавку. В настоящее время только в конструкционных заготовках используются десятки различных марок стали [1].

При этом, в настоящее время на рынке имеется ряд заказов на квадратную заготовку неотвественного назначения. Для данных заготовок требования к химическому составу сгруппированы по уровню содержания углерода и легирующих элементов, жесткие ограничения по техническим требованиям отсутствуют. Именно для таких заказов можно использовать отсортированные круглые заготовки.

На универсально-балочном стане цеха прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ НТМК» возможность чередования калибров определена расположением клетей ВК1, ГУК1, ГУК2, ВК2, ГУК-3, где ВК1 – вспомогательная клеть первой группы, ГУК1 – главная универсальная клеть первой группы, ГУК2 – главная универсальная клеть 2-ой группы, ВК2 – вспомогательная клеть 2-ой группы, ГУК-3 – чистовая клеть [2].

Попытки переката круглой заготовки, была предпринята еще в 1978 году [3], а в 1989 году предложен способ переката, используя 4-х валковую систему калибров. Согласно предложенной схеме из круглой заготовки прокатка производилась в четырехвалковом ребровом калибре прямоугольного профиля с выпуклыми рабочими поверхностями горизонтальных валков, а затем в двухвалковом круглом калибре прутков задается в калибр, образованный валками, имеющими выпуклые рабочие поверхности, при отношении высоты калибра к его ширине в пределах 1,1-1,8. Затем полоса в форме невыполненного четырехгранника прокатывается в круглом 2-валковом калибре.

При прокатке круглой заготовки в прямоугольном четырехвалковом калибре очаг деформации за счет неравенства высоты и ширины калибра делится на двухвалковую и четырехвалковую зоны. Для уменьшения длины очага деформации двухвалковой зоны и увели-

чения четырехвалковой, в предложенной системе валки с меньшим диаметром выполнены с выпуклой поверхностью [4]. Однако используя такую схему возможно было только производить круглую заготовку меньшего диаметра.

Специалистами АО «ЕВРАЗ НТМК» были разработаны схемы прокатки, по которым возможно произвести перекал некондиционного круга в прямоугольное сечение на универсально-балочном стане. Схемы включают в себя чередование универсальных и двухвалковых калибров, с получением соответствующего профиля. Для примера на рис. 1 представлена схема производства квадратного сечения 100 мм из круглого сечения $\varnothing 150$ мм.

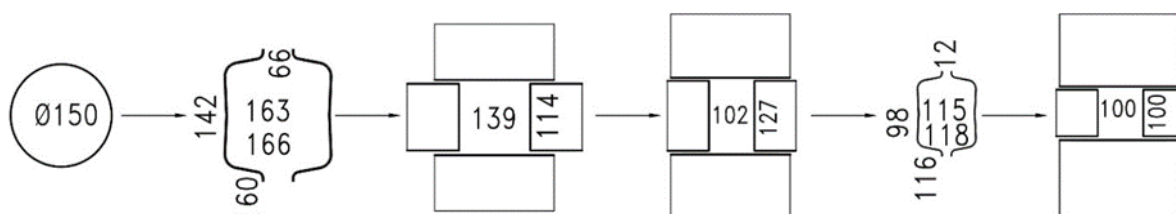


Рис. 1. Схемы перекалки круглой заготовки $\varnothing 150$ мм в квадрат со стороной 100 мм по системе: ВК-ГУК-ГУК-ВК-ГУК

Преимущества использования данных схем определяется:

- получением готового профиля, отвечающего стандарту;
- использованием «мягких» обжатий, определяющих высокий ресурс валков и минимальные нагрузки на клетки;
- применением стандартных калибров и привалковой арматуры, которые присутствуют на имеющихся в наличии комплектах валков;
- устойчивостью полосы за счет использования поочередной осадки сторон;
- получением плавных радиусов, которые выкатываются из основного радиуса круга, тем самым отсутствует износ калибров в зоне формирования радиусов квадратов.

Качество получаемой квадратной заготовки соответствует всем требованиям. На рис. 2 представлена партия заготовок, полученная по схеме перекалки из круглой заготовки.



Рис. 2. Квадратная заготовка со стороной 100 мм, полученная из заготовки круглого сечения $\varnothing 150$ мм

Учитывая полученный опыт, на таких квадратных заготовках отсутствуют поверхностные напряжения в зоне перехода поверхности к радиусу, т.к. в зоне формирования радиуса

заготовка испытывает не сжимающие (направленные от радиуса к центру заготовки), а тангенциальные напряжения (по касательной в сторону формирования радиуса), что создает благоприятные условия для получения однородной макроструктуры (рис. 3). Согласно рис. 3, на границах перехода боковой грани на радиус, зерна однородные, дислокации отсутствуют, что указывает на равномерное уплотнение стенки в сторону радиуса. Учитывая свободное формирование радиусов конечного профиля разница по радиусам составляет не более 2-х мм. Единственным обязательным условием для полноценного формирования профиля является вытяжка, коэффициент которой должен составлять не менее 1,3.



Рис. 3. Макроструктура квадратных заготовок со стороной 100 мм, перекатанной из круга Ø150 мм

В таблице представлены существующие схемы прокатки квадратных профилей из круглых заготовок, применимые на универсальном балочном стане цеха прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ НТМК». На данную технологию был оформлен патент [5].

Таблица

Схемы прокатки квадратной заготовки из заготовки круглого сечения

| Диаметр заготовки, мм | Прокатываемое сечение, мм | | | | | Коэффициент вытяжки |
|-----------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| | БК1 | ГУК 1 | ГУК 2 | БК 2 | ГУК 3 | |
| Ø120 | | | | | 90x90 | 1,31 |
| Ø150 | 160x163 | 114x139 | 127x102 | 116x115 | 100x100 | 1,77 |
| Ø180 | 146x182 | 150x134 | | 121x175 | 130x130 | 1,50 |
| Ø220 | 190x230 | 160x200 | | 175x167 | | 1,48 |

Таким образом, разработанная схема производства заготовок квадратного сечения из неликвидных круглых заготовок позволяет повысить экономические показатели работы цеха.

Библиографический список

1. Производство двутавровых балок на ЕВРАЗ НТМК в постоянном развитии / К.Н.Шведов, Д.Е.Кавун, К.Е.Соколов, О.В.Килишевский // Сталь. 2020. №6. С. 26–27.
2. Кавун Д.Е., Свириденко В.В., Рубцов В.Ю. Выпуск новых видов проката – ориентация на потребителя // Металлург. 2020. №6. С. 27–31.
3. Авторское свидетельство SU №1475742 А1, МПК В21В 1/16, Система калибров для прокатки круглых профилей / Б.А.Никифоров, В.А.Харитонов, А.В.Копьев, В.А.Харитонов, А.В.Кайзер, А.П.Пацекин; заявитель и патентообладатель Магнитогорский горно-металлургический институт им. Г.И.Носова – №4305606; заявл. 14.09.1987 опубл. 30.04.1989, бюл. №16. 4 с.
4. Авторское свидетельство SU №722617, МПК В21В 1/08, Способ прокатки круглой стали / Л.Н.Прищенко, Г.А.Гладков, Ф.Е.Долженков, А.Т.Быкадоров, И.Л.Хейфец, В.А.Скуднов; заявитель и патентообладатель Донецкий научно-исследовательский институт черной металлургии – № 260268/22-02; заявл. 11.04.78 опубл. 25.03.80, бюл. №11. 3 с.
5. Способ производства проката прямоугольного сечения из некондиционного проката круглого сечения: пат 2745920 Рос. Федерация: МПК51 В21В 1/16 / О.В.Килишевский, В.Ю.Рубцов, В.В.Тютерев, Д.Е.Кавун, В.В.Свириденко, В.С.Чурилов, К.Н.Шведов; заявитель и патентообладатель Акционерное общество Нижнетагильский металлургический комбинат (АО ЕВРАЗ НТМК) – №202010693; заявл. 23.06.2020; опубл. 2.04.2021, бюл. №10. 8 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

O.V.Kilishevskij, V.Y.Rubtsov, D.E.Kavun, K.E.Sokolov
 EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

EXPERIENCE IN PRODUCING SQUARE BILLETS FROM ROUND BILLETS

Abstract. At the EVRAZ NTMK JSC in wide-flange beams rolling shop, the technology of rolling various diameters round billets into square billets one was mastered, which made it possible to reduce shop's illiquid products remains. The technology is based on use of alternate of universal and two-roll calibers, which allows stable rolled products production. Also, billet obtained by this method has a number of advantages in its macrostructure terms.

Keywords: round billet, square billet, wide-flange beams rolling shop, rolling pattern, coefficient of elongation, metal macrostructure.

Д.Н. Чикишев
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

СНИЖЕНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ ТРЕБУЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

Аннотация. В статье приводится анализ возможности снижения содержания ванадия в трубных сталях класса прочности К60 на основе разработки компенсирующих технологических воздействий.

Ключевые слова: толстый лист, трубный прокат, легирование, механические свойства, ванадий.

К современным микролегированным сталям для производства газонефтепроводных труб предъявляются самые жесткие требования. С одной стороны, трубная сталь должна обладать высокой прочностью, вязкостью и пластичностью, с другой – являться экономнолегированной. Для производства таких сталей на толстолистовых станах применяется процесс контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением.

В настоящее время одной из актуальных проблем является производство толстолистового проката толщиной 16,0-24,0 мм класса прочности К60 без использования такого микролегирующего элемента как ванадий. В трубных сталях ванадий используется для увеличения прочности путем дисперсионного твердения за счет выделения карбонитридов. Однако с экономической точки зрения ванадий может быть исключен и его роль компенсирована за счет дополнительного измельчения зерна и увеличения объемной доли бейнита [1]. Наиболее экономичным способом для этого является использование ускоренного охлаждения после деформации в аустенитной области. Применяя более высокие скорости охлаждения, можно достичь дальнейшего измельчения зерна, поскольку более низкая температура начала превращения обеспечивает больше зародышей в переохлажденном аустените. Кроме того, получение мелкого аустенитного зерна при проведении предварительной стадии контролируемой прокатки также является одним из главных условий формирования дисперсной конечной структуры в листе. Таким образом, упрочняющий эффект дисперсионного твердения ванадия можно компенсировать зернограницным упрочнением стали при контролируемой прокатке.

Целью работы является анализ возможности снижения содержания ванадия в трубных сталях класса прочности К60 (содержащих 0,04-0,06% ванадия) на основе разработки компенсирующих технологических воздействий.

Снижение содержания ванадия приводит, прежде всего, к снижению прочностных характеристик стали – предела текучести и временного сопротивления разрыву. Для того чтобы оценить влияние снижения ванадия на механические свойства, воспользуемся известными моделями:

– модель расчета предела текучести [2]:

$$\sigma_T = 62,6 + 26,1 Mn + 60,2 Si + 759,0 P + 212,9 Cu + \\ + 3286,0 N_{sol} + \frac{19,7}{\sqrt{d_\alpha}} + \Delta\sigma_{ppt}, \quad (1)$$

где d_α – размер зерна феррита, мм; Mn, Si, P, Cu – содержание элементов в стали, %; N_{sol} – свободный азот, %; $\Delta\sigma_{ppt}$ – приращение прочности стали по механизму дисперсионного твердения, МПа;

– модель расчета временного сопротивления разрыву [2]:

$$\sigma_B = 164,9 + 634,7 C + 53,6 Mn + 99,7 Si + 651,9 P + 472,6 Ni + 3339,4 N_{sol} + \frac{11,0}{\sqrt{d_\alpha}} + \Delta\sigma_{ppt}. \quad (2)$$

Зависимости (1-2) учитывают взаимосвязь предела текучести и временного сопротивления разрыву с содержанием основных твердорастворных упрочняющих элементов, размером зерна феррита и дисперсионным твердением.

Приращение прочности стали по механизму дисперсионного твердения определяется по следующей зависимости [2]:

$$\Delta\sigma_{ppt} = 57(\lg U_{охл}) + 700V + 7800N_{sol} + 19, \quad (3)$$

где $\Delta\sigma_{ppt}$ – приращение прочности стали по механизму дисперсионного твердения, МПа;

$U_{охл}$ – скорость охлаждения, град/сек; V – содержание ванадия, %.

Размер зерна феррита после аустенит-ферритного превращения определяется по формуле [3]:

$$d_\alpha = (1 - 0,8\varepsilon^{0,15}) \left(29 - 5\sqrt{U_{охл}} + 20(1 - e^{-0,015d_\gamma}) \right), \quad (4)$$

где d_γ – размер зерна аустенита перед аустенит-ферритным превращением, мкм; ε – суммарная степень деформации на чистовой стадии прокатки.

Из формул (1-4) следует, что снижение содержания ванадия в стали приводит к снижению величины $\Delta\sigma_{ppt}$, которое может быть компенсировано увеличением скорости охлаждения и/или измельчением зерна феррита.

Существенное влияние на размер зерна феррита, в свою очередь, оказывает размер аустенита перед чистовой стадией контролируемой прокатки. Методом конечных элементов с использованием программного комплекса DEFORMTM выполнили численное исследование влияния различных режимов, имитирующих предварительную стадию контролируемой прокатки на измельчение зерна аустенита. Для моделирования образования зародышей рекристаллизации и их роста использовали метод «Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov» (JMAK). В расчетах использовали уравнения из работы [4].

Моделирование проводили для трубной стали класса прочности K60 (0,07C-1,7Mn-0,06Nb-0,015Ti, %). Рассматривали два варианта черновой стадии прокатки (табл. 1): 1) прокатка сляба толщиной 250 мм за 6 черновых проходов; 2) прокатка сляба толщиной 300 мм за 8 черновых проходов.

Таблица 1

Режимы черновой прокатки

| № прохода | Вариант 1 | | Вариант 2 | |
|-----------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| | Обжатие ε , % | Температура, °C | Обжатие ε , % | Температура, °C |
| 1 | 12,00 | 1042 | 9,52 | 1084 |
| 2 | 13,64 | 1037 | 9,29 | 1045 |
| 3 | 13,16 | 1033 | 9,88 | 1042 |
| 4 | 12,12 | 1023 | 10,77 | 1037 |
| 5 | 13,79 | 1049 | 11,33 | 1033 |
| 6 | 12,00 | 1038 | 11,72 | 1023 |
| 7 | - | - | 15,31 | 1049 |
| 8 | - | - | 16,30 | 1038 |

Температура нагрева сляба в печи одинакова в обоих вариантах и составляет 1220°C. Конечная толщина листа 24 мм. Решали неизотермическую задачу. При моделировании процесса прокатки учитывали влияние таких факторов как деформационный разогрев металла, теплопередача валкам в очаге деформации, потери тепла конвекцией и излучением. Начальный размер зерна аустенита в момент выдачи сляба из печи приняли равным 200 мкм.

Результаты моделирования показали (рис. 1-4), что для более эффективного измельчения зерна аустенита черновую прокатку следует проводить за большее количество проходов (7-8) с частными обжатиями не менее 9%.

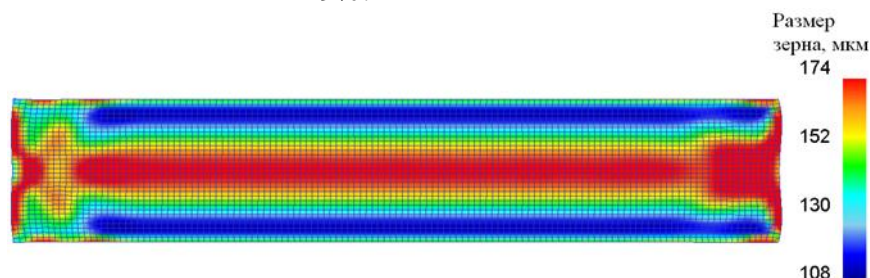


Рис. 1. Размер зерна аустенита после 1-го чернового прохода (при прокатке по варианту 1)

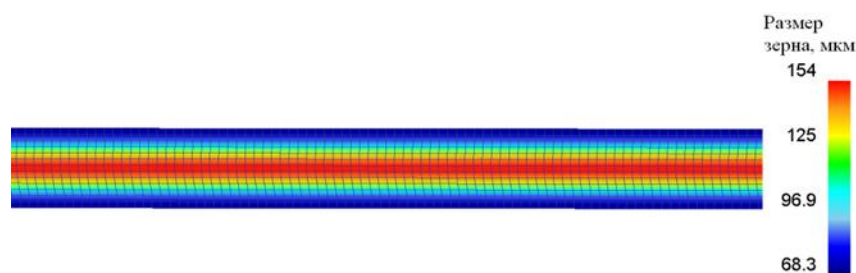


Рис. 2. Размер зерна аустенита перед чистой стадией прокатки (при прокатке по варианту 1)

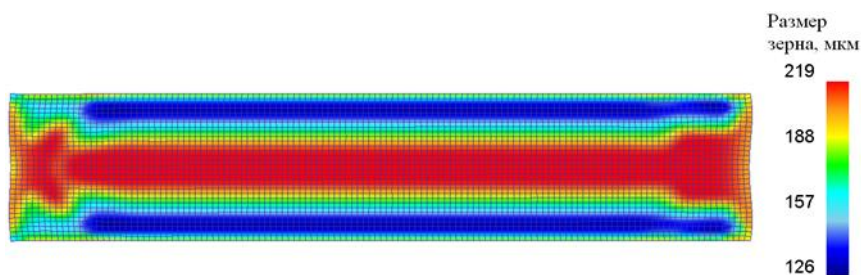


Рис. 3. Размер зерна аустенита после 1-го чернового прохода (при прокатке по варианту 2)

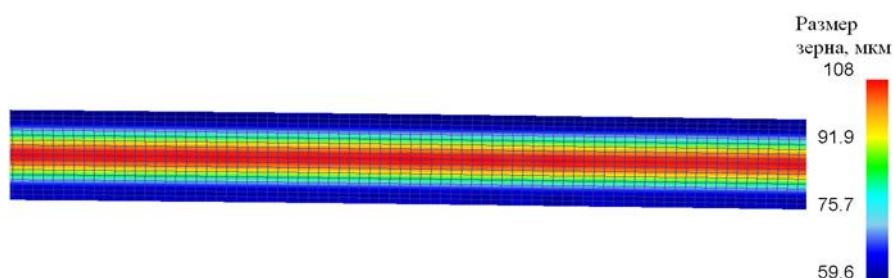


Рис. 4. Размер зерна аустенита перед чистой стадией прокатки (при прокатке по варианту 2)

При этом в качестве исходной заготовки необходимо применять сляб максимальной толщины – 300-350 мм. Это позволяет более эффективно измельчать зерно за счет многократного прохождения статической рекристаллизации во время пауз между проходами. При прокатке по варианту 1 перед чистовой стадией размер зерна аустенита на поверхности раската составил 68,3 мкм, а в центре – 154 мкм (рис. 2). При прокатке по варианту 2 размер зерна на поверхности составил 59,6 мкм, а в центре – 108 мкм (рис. 4).

Влияние размера зерна аустенита и скорости охлаждения на размер зерна феррита после $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения с использованием модели (4) представлено графически на рис. 5.

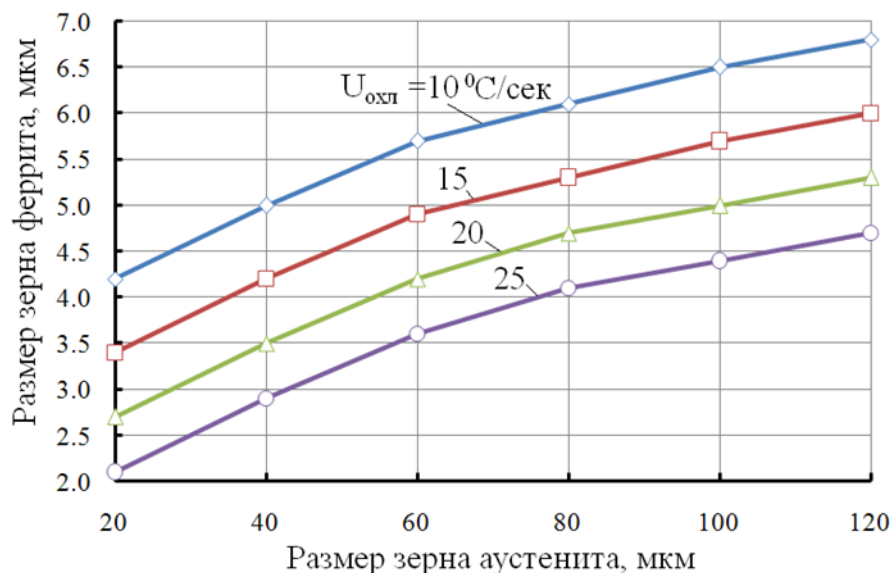


Рис. 5. Влияние размера зерна аустенита и скорости охлаждения на размер зерна феррита d_α после $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения

Из графика следует, что при величине зерна аустенита 108 мкм в центре раската и 59,6 мкм – на поверхности, охлаждение со скоростью 10 град/сек. позволяет получать зерно феррита размером 6,7 мкм в центре листа и 5,7 мкм на его поверхности. Для получения более мелкозернистой конечной структуры необходимо дополнительное измельчение аустенита на предварительной стадии прокатки, а также применение более высоких скоростей охлаждения.

Расчеты с использованием модели (1) показали, что для получения стали класса прочности К60 с пределом текучести не менее 510 МПа необходимо, чтобы размер зерна феррита был не более 7 мкм, а величина приращения $\Delta\sigma_{ppt}$ составляла не менее 110 МПа (рис. 6).

Приращение прочности стали $\Delta\sigma_{ppt}$ по механизму дисперсионного твердения в результате выпадения частиц V(C, N) определяется содержанием в стали ванадия, а также скоростью охлаждения (рис. 7). Расчеты с использованием модели (3) показали, что снижение содержания ванадия в стали с 0,06% до 0 приводит к снижению $\Delta\sigma_{ppt}$ на 42 МПа – со 112-147 до 70-105 МПа в зависимости от скорости охлаждения.

Таким образом, снижение содержания ванадия с 0,06% до 0 в трубных сталях класса прочности К60 может быть компенсировано увеличением скорости охлаждения до 20-24 град/сек и измельчением зерна феррита до 5-6 мкм за счет более эффективной проработки аустенита на предварительной стадии прокатки. Промышленное опробование на стане 5000 ПАО «ММК» разработанных мероприятий показало высокую сходимость полученных результатов при производстве проката толщиной 16-24 мм.

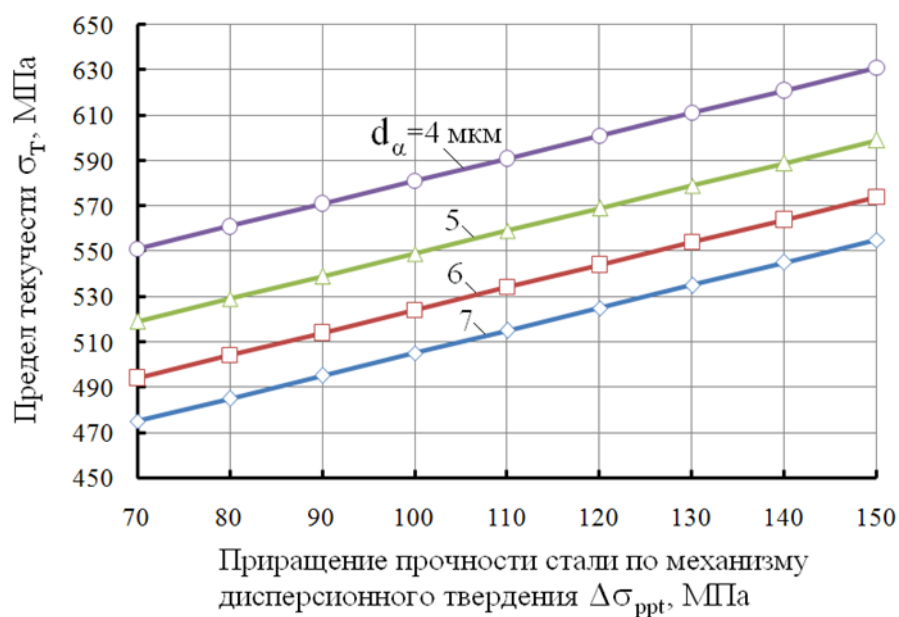


Рис. 6. Влияние размера зерна феррита d_α и приращения прочности $\Delta\sigma_{ppt}$ по механизму дисперсионного твердения на предел текучести

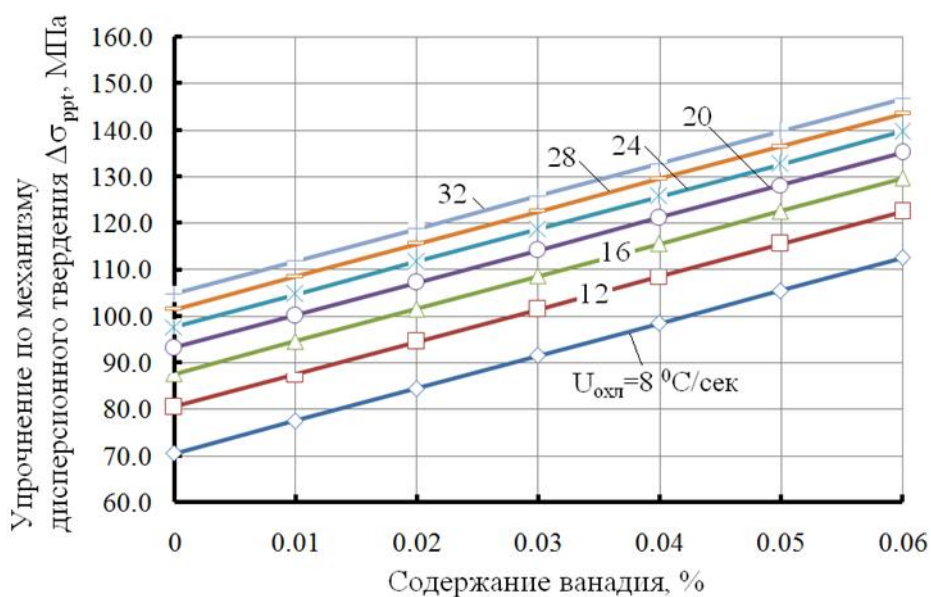


Рис. 7. Влияние содержания ванадия и скорости охлаждения на приращение прочности стали по механизму дисперсионного твердения

Выводы

С целью снижения содержания ванадия в трубных сталях класса прочности К60 при производстве проката толщиной 16-24 мм разработаны следующие компенсирующие мероприятия: 1) применение сляба максимальной толщины – 300-350 мм для увеличения количества черновых проходов с 5-6 до 7-8 с целью более эффективного измельчения зерна аустенита; 2) увеличение скорости охлаждения до 20-24 град/сек.

Библиографический список

1. Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И. Ниобийсодержащие низколегированные стали. М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1999. 94 с.
2. Hodgson P.D., Gibbs R.K. A Mathematical Model to Predict the Mechanical Properties of Hot Rolled C-Mn and Microalloyed Steels // ISIJ International, 32:12, 1992. P. 1329–1338.
3. Gibbs R.K., Parker B.A., Hodgson P.D. Proc. of International Symposium on Low-Carbon Steels for the 90's. Pittsburgh, USA, 1993. 173 p.
4. Моделирование микроструктуры низколегированной конструкционной стали при черновой прокатке на стане 5000 ОАО «ММК» / В.М.Салганик, А.М.Песин, С.В.Денисов, Д.Н.Чикишев, Д.О.Пустовойтов, А.А.Перехожих // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. №1. С. 4–11.

● INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH ●

D.N.Chikishev

Nosov Magnitogorsk State Technical University

**REDUCING THE ALLOYING OF PIPE STEELS WITH PRESERVATION
OF THE REQUIRED MECHANICAL PROPERTIES
IN THE PRODUCTION OF THICK PLATE**

Abstract. The article analyzes the possibility of reducing the vanadium content in pipe steels of strength class K60 based on the development of compensating technological operations.

Keywords: thick plate, rolled pipe, alloying, mechanical properties, vanadium.

Р.Э.Шахобутдинов

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

КАЛИБРОВКА ШАРОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ДВУХЗАХОДНЫМИ ВИНТОВЫМИ КАЛИБРАМИ СО СМЕЩЁННЫМ ЦЕНТРОМ РУЧЬЁВ ДЛЯ ПРОКАТКИ СТАЛЬНЫХ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ ДИАМЕТРОМ 70 ММ ПО ГОСТ 7524-2015

СООБЩЕНИЕ 1

Аннотация. В статье приводятся результаты расчётов основных геометрических параметров нарезания шаропрокатного вала на токарно-винторезном станке оснащённым копировальным устройством с непрерывно-изменяющимся шагом. Расчёт калибровки выполнен для шаропрокатного вала с двухзаходными винтовыми калибрами со смещённым центром ручьёв для прокатки помольных шаров диаметром 70 мм.

Ключевые слова: помольные шары, винтовой калибр, шаропрокатный валок, реборда, кулачковый копир, MathCAD 15.

Процесс прокатки шаров на станах осуществляется из круглой прутковой заготовки с помощью двух валков, имеющих винтовые калибры. При однозаходной калибровке за каждый оборот валков прокатывается один шар. При многозаходной калибровке – число шаров, выходящих из валков за один оборот, равно числу заходов винтового калибра. При выходе из валков шары интенсивно охлаждаются в воде и закаливаются, что обеспечивает высокую износостойкость шаров в мельницах для размолла руды, угля и цемента. Для повышения точности и качества валков и упрощения их изготовления разработаны специальные приспособления для нарезания на токарно-винторезном станке винтовых ручьёв шаропрокатных валков, имеющих переменный шаг [1].

Использование стальных мелющих шаров в сравнении с чугунными дает снижение удельного расхода шаров с 1,23 кг/тонну до 0,765 кг/тонну концентрата, снижение времени измельчения и, следовательно, увеличение производительности мельниц.

Возникла необходимость освоить выпуск стальных мелющих стержней и шаров с высоким качеством, что позволит снизить себестоимость продукции, которая сегодня в жестких рыночных отношениях имеет решающее значение.

Помольные шары выпускаются по межгосударственному стандарту ГОСТ 7524-2015. В табл. 1 приведены параметры предельных отклонений и массы помольных шаров по вышеуказанному ГОСТу.

При калибровке двухзаходных шаропрокатных валков нужно соблюдать постоянство стандартных размеров. Шаропрокатные валки в нашем случае будут нарезаться на токарно-винторезном станке модели ДИП-500, оснащённым специальным копировальным устройством для нарезания винтовых поверхностей со смещённым центром ручьёв.

Таблица 1

Параметры помольных шаров по ГОСТ 7524-2015

| Условный диаметр шара, мм | Номинальный диаметр, мм | Предельные отклонения по номинальному диаметру, мм | Расчетная номинальная масса шаров, кг |
|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------------------|
| 40 | 41,5 | ±2,0 | 0,294 |
| 50 | 52,0 | ±3,0 | 0,580 |
| 60 | 62,0 | ±3,0 | 0,980 |
| 70 | 73,0 | ±3,0 | 1,600 |
| 80 | 83,0 | ±3,0 | 2,350 |
| 90 | 94,0 | ±4,0 | 3,410 |
| 100 | 104,0 | ±4,0 | 4,620 |

Передаточное отношение копировального устройства равно $i = 35$. Исходными параметрами шаропрокатного вала примем: диаметр калибра $D_K = 73,5 \text{ мм}$; число заходов винтовых ручьёв калибра $Z = 2$.

Определяем предварительный диаметр шара при учёте коэффициента температурного расширения металла:

$$D_{III} = \frac{D_K}{\eta_\tau} = \frac{73,5}{1,013} = 72,5568 \text{ мм}, \quad (1)$$

где $\eta_\tau = 1,013$ – коэффициент, учитывающий температурное расширения металла во время прокатки.

Определяем предварительный диаметр заготовки с учётом коэффициента радиального роста размера шара во время прокатки:

$$D_3 = \frac{D_{III}}{\eta_0} = \frac{72,5568}{1,03} = 70,4435 \text{ мм}, \quad (2)$$

где $\eta_0 = 1,03$ – коэффициент учитывающий радиальный рост металла во время прокатки.

Определяем общую протяженность калибра. Протяженность калибра условно измеряется в градусах развертки винтовой линии. За начало калибра принимается центр радиуса калибра, расположенного на прямой, проходящей вдоль торца вала со стороны выхода готового шара. По рекомендациям исходных данных для проектирования калибровки приведённых [1] учитывая длину шаропрокатного вала $l_{\text{винт}} = 411 \text{ мм}$ принимаем протяжённость калибра равной $\varphi_{\text{калибр}} = 1013^\circ$.

Определим рабочую длину винтовой линии равной протяжённости винтового калибра:

$$l_{\text{винт}} = \frac{\varphi_{\text{калибр}} T_{\text{ст}}}{360^\circ} = \frac{1013 \cdot 141,9623}{360} = 399,466 \text{ мм}, \quad (3)$$

Шаропрокатный валок делится на два участка [2]: формующий на котором осуществляется захват заготовки и её постепенное обжатие в шар, и отделочный участок, где производится калибровка шара и отделение его от остальной заготовки. Прокатка помольных шаров на шаропрокатном стане производится двумя валками. Данные шаропрокатные валки отличаются друг от друга размерами диаметров связанные значением радиусов перемычек реборды их принято обозначить как валок с большим диаметром – правый и валок с меньшим диаметром – левый.

По рекомендациям вышеуказанной литературы примем протяжённости формующего и отделочного участка для правого и левого валков:

- протяжённость отделочного участка $\varphi_{\text{о.л.}} = 555^\circ$, $\varphi_{\text{о.п.}} = 666^\circ$;
- протяжённость формующего участка:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ф.п.}} &= \varphi_{\text{калибр}} - \varphi_{\text{о.п.}} = 1013 - 555 = 458^\circ; \\ \varphi_{\text{ф.л.}} &= \varphi_{\text{калибр}} - \varphi_{\text{о.л.}} = 1013 - 666 = 347^\circ. \end{aligned} \quad (4)$$

Минимальное допускаемое значение радиуса перемычки определим из следующей формулы:

$$r_{\min} = 1 + 0,04(R_K - 10) = 1 + 0,04(36,75 - 10) = 2,07 \text{ мм}. \quad (5)$$

Определение значений радиуса перемычки для правого и левого валков имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} r_{n.n.} &= 0,0395D_K = 0,0395 \cdot 73,5 = 2,9013 \text{ мм}; \\ r_{n.l.} &= 0,0972D_K = 0,0972 \cdot 73,5 = 7,1458 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (6)$$

В начале винтового калибра на участке от $\varphi = 0^\circ$ до $\varphi = 180^\circ$ радиусы перемычки для правого и левого валков равны $r_{n.n.} = r_{n.l.} = 0 \text{ мм}$; на участке от $\varphi = 180^\circ$ до $\varphi = 555^\circ$ радиус перемычки для правого валка равен $r_{n.n.} = 2,9013 \text{ мм}$; радиус перемычки для левого валка, на участке от $\varphi = 180^\circ$ до $\varphi = 666^\circ$, равен $r_{n.l.} = 7,1458 \text{ мм}$. На формующем участке значение радиуса перемычки правого и левого валков будут увеличиваться по линейному закону. На рис. 1 приведен график изменения перемычки правого и левого валков.

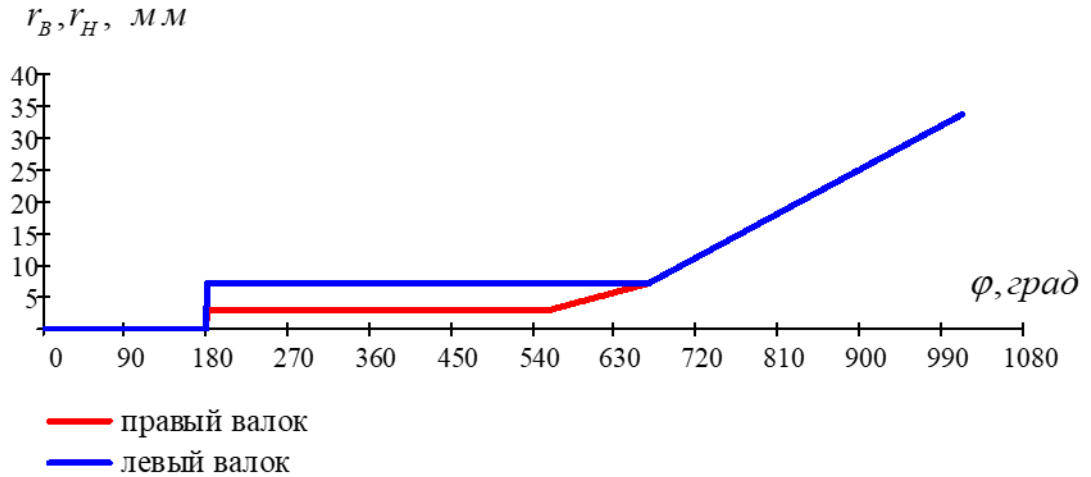


Рис. 1. График изменения радиуса перемычки правого и левого валка

На формующем участке определим начальную высоту реборды по следующему выражению:

$$h_n = 0,0418D_K = 0,0418 \cdot 73,5 = 3,0754 \text{ мм}. \quad (7)$$

Для правого и левого валков начальная высота и изменение высоты реборды на формующем участке принимаются одинаковыми. На рис. 2 приведен график изменения высоты реборды по всей длине винтового ручья правого и левого валков.

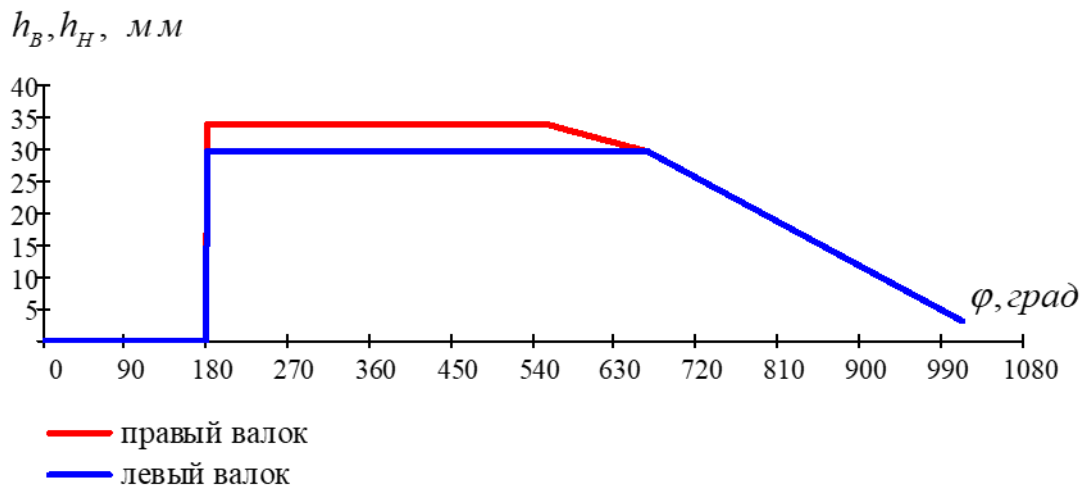


Рис. 2. График изменения высоты реборды правого и левого валка

Можно отметить, что высота реборды на отделочном участке постоянна, а на формирующем участке изменяется по линейному закону.

Выводы

Разработана калибровка шаропрокатного вала с двухзаходными винтовыми калибрами со смещённым центром ручьёв для прокатки стальных помольных шаров диаметром 70 мм. Проведен расчёт размеров заготовки, приведены окончательные параметры высоты реборды правого и левого вала. Полученные математические выражения реализованы в среде MathCAD 15 по результатам расчётов получены соответствующие графики. Все эти данные служат для дальнейшего расчёта калибровки. Окончательный расчёт будет изложен в следующем сообщении.

Библиографический список

1. А.С. 837643 (СССР). МПК В23G 3/10. Устройство к токарно-винторезному станку для нарезания винтовых поверхностей с переменным шагом / Н.А.Целиков, Б.Ф.Выгоднер, В.И.Котенок и др. // Оpubл. 15.06.81. Б.И. 1981. №22. С. 2.
2. Прокатное производство. Т.2 / под ред. Е.С.Рокотьяна. М.: Металлургиздат 1962. 336 с.
3. Каримов Р.И., Садуллаев Ш.А., Шахобутдинов Р.Э. Кулачковые и кулачково-рычажные механизмы. Основы теории и конструкции // Монография. Ташкент: ТашГТУ, 2014. 180 с.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

R.E.Shakhobutdinov

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

CALIBRATION OF BALL ROLLS WITH TWO-WAY SCREW CALIBRES WITH AN OFFSET CENTER OF GROOVES FOR ROLLING STEEL BALLS WITH A DIAMETER OF 70 MM ACCORDING TO GOST 7524-2015 MESSAGE 1

Abstract. The article presents the results of calculations of the basic geometric parameters of cutting a ball-rolling roll on a screw-gauge lathe equipped with a copier with a continuously changing step. Calibration calculation is performed for a ball-rolling roll with two-start screw calibres with an offset center of the grooves for rolling grinding balls with a diameter of 70 mm.

Keywords: grinding balls, screw calibre, ball-rolling roll, flange, cam copier, MathCAD 15.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кавун Дмитрий Евгеньевич – начальник цеха прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Кинзин Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: теория и технология сортопрокатного производства. Тел.: +79068722849. E-mail: kinzin@mail.ru.

Килишевский Олег Валерьевич – старший калибровщик цеха прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Рубцов Виталий Юрьевич – калибровщик рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», аспирант Уральского федерального университета. Область исследований: поперечно-винтовая прокатка, металлургические печи. Тел.: +79533836810. E-mail: uriylot@mail.ru.

Соколов Константин Евгеньевич – начальник отдела прокатного производства технического управления АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

Спузик Сид – PhD, старший научный сотрудник отделения информационных технологий, инжиниринга и окружающей среды университета Южной Австралии. Область исследований: горячая прокатка, калибровка прокатных валков, управление качеством, управление знаниями.

Тел.: +61883650767; +61883023329.

E-mail: Sead.Spuzic@unisa.edu.au.

Чикишев Денис Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел.: +79028958755.

E-mail: chikishev_denis@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Kavun Dmitriy Evgen'evich – chief of beam rolling mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.

Kinzin Dmitrii Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Staff Scientist of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Research themes: theory and technology of section rolling production. Phone: +79068722849. E-mail: kinzin@mail.ru.

Kilishevsky Oleg Valer'evich – major roll pass designer of beam rolling mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant.

Rubtsov Vitaly Yurievich – roll pass designer of rail and structural steel mill department of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant, post graduate student of Ural Federal University. Research themes: Cross-helical-rolling, Multi-stage furnace. Phone: +79533836810. E-mail: uriylot@mail.ru.

Sokolov Konstantin Evgen'evich – Head of Rolling Production Department of Technical Management of EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

Spuzic Sead – PhD, MSc, BEng (Hons), Adjunct Senior Research Fellow Division of Information Technology, Engineering and the Environment University of South Australia. Research themes: hot steel rolling, roll pass design, total quality control, knowledge management. Phone: +61883650767; +61883023329. E-mail: Sead.Spuzic@unisa.edu.au.

Chikishev Denis Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Technologies of Material Processing» Department of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: +79028958755.

E-mail: chikishev_denis@mail.ru.

Шахобутдинов Рустам Эркинбаевич – старший преподаватель кафедры «Теоретическая механика и теория механизмов и машин» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. Область исследований: моделирование кинематики и динамики кулачковый механизмов для нарезания шаропрокатных валков. Тел.: +998999741773.
E-mail: Rus-0373@mail.ru.

Shakhobutdinov Rustam Erkinbaevich – senior lecturer of «Theoretical Mechanics and Theory of Mechanisms and Machines» Department of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Research themes: simulation of kinematics and dynamics of cam mechanisms for cutting ball rolls.
Phone: +998999741773.
E-mail: Rus-0373@mail.ru.