

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



ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ  
КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 14

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

# SiKE

SOFTWARE



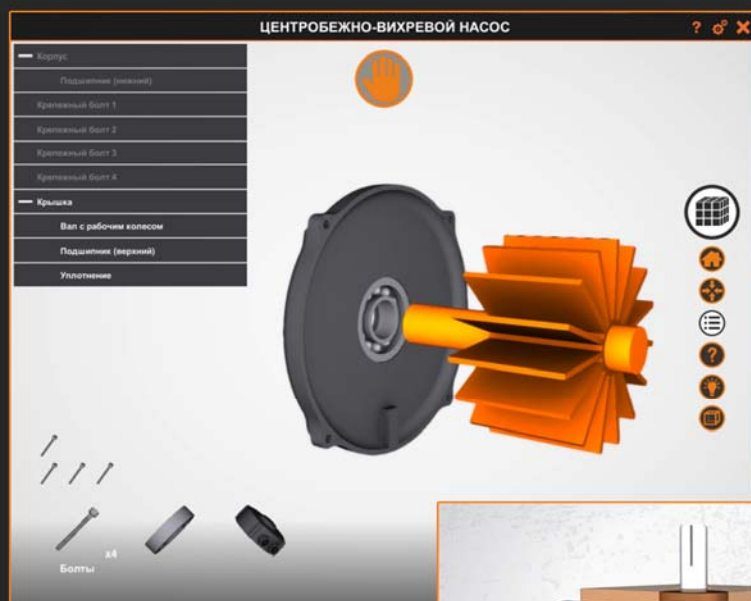
## МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

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

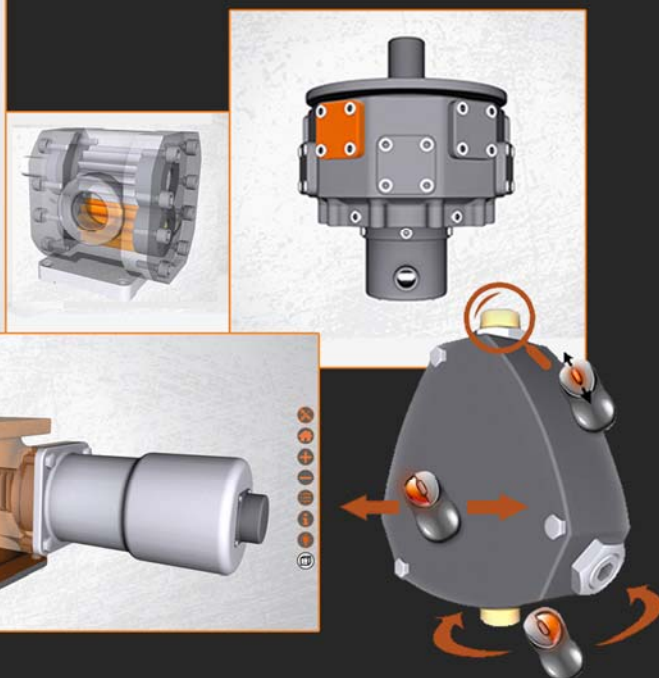
- Проблемы с текучкой кадров?
- Неоправданные затраты на обучение?
- Сотрудники долго и некачественно выполняют ремонт?

**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](mailto:info@sike.ru)  
Сайт: [sike.ru](http://sike.ru)  
Интернет-магазин: [shop.sike.ru](http://shop.sike.ru)

**«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Выпуск 14**

**Дата опубликования:** 30.06.2019.

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](http://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

<b>Сортопрокатное производство .....</b>	<b>5</b>
<i>D.I.Kinzin, S.A.Levandovskiy</i>	
MANAGEMENT OF ROLLS HANDLING FACILITIES OF LONG PRODUCTS SHOP ...	5
<b>Листопркатное производство .....</b>	<b>11</b>
<i>М.И.Румянцев, А.Н.Колыбанов</i>	
ВТОРОЕ УПРОЩЕНИЕ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИИ ВАЛКОВ И ПРОФИЛЯ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ В КЛЕТИ КВАРТО С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	11
<b>Производство специальных видов проката .....</b>	<b>16</b>
<i>В.Ю.Рубцов, О.И. Шевченко</i>	
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНОЙ ВПАДИНЫ .....	16
<b>Волоочильное производство .....</b>	<b>25</b>
<i>В.Г.Дампилон, А.И.Виноградов, Е.В.Агапов, М.А.Голованов</i>	
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ...	25
<b>Сведения об авторах .....</b>	<b>27</b>

**D.I.Kinzin, S.A.Levandovskiy**  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

## **MANAGEMENT OF ROLLS HANDLING FACILITIES OF LONG PRODUCTS SHOP**

*Abstract. The existing problems of rolls handling facilities, as in the case of PJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" Long products shop were considered in terms of a proposition to have them solved by means of introduction of an automated information system for accounting and management. A review of literary sources on issues of information technology, management, logistics and organization of rolls handling facilities was performed. The basic provisions of automated information system have been developed, and the issue of rolls handling facilities management on its basis is considered.*

*Keywords: rolls accounting, rolls handling facility, roll life cycle, automated information system.*

### **Introduction**

The efficiency of rolling mill is largely determined by the quality and culture of operation of the main working tool - mill forming rolls. A wide product mix of rolling mills requires a significant operating fleet of forming rolls and storage areas, which requires high expenditures. At the same time, the consumption of rolls occupies a significant share in the cost of rolling products. The condition and stability of rolls influence on the quality of rolled products and mill's efficiency. It is obvious that improvement of rolls quality, their operation and rational organization of rolls handling facilities will ensure increased productivity, improved quality, and reduce the production costs for long products shop.

The basis for a rational organization of rolls handling facilities is the accounting of mill rolls. Rolls handling facility, the value of which may reach hundreds of millions rubles, requires accurate accounting for the calculation of rolls fleet, the statistical determination of rolls consumption, correct depreciation of rolls to the cost of rolled products, analysis of rolls breakage, etc. At the same time, out-of-date accounting methods do not meet the modern requirements of time and are a drag of development. At the present time, there are more effective information technologies, which open up new opportunities and can become the basis of a competitive advantage.

### **Existing Problems of Rolls Handling Facilities and Methods for Solving Them**

We shall consider the problems and methods for solving them as in the case of PJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" Long products shop [1].

Among rolls handling facilities of all rolling shops of PJSC "MMK", the most complex in its structure and number of rolls is the rolls handling facility of long products shop. The total number of grooved rolls is about 2500 for the amount of 500 million rubles. Rolls of flats mills are much more massive and more expensive, but because of the smaller amount of them, it is much easier to control them (for comparison, in RS No. 10 the number of rolls is much smaller than in long products shop). The complexity is not only in quantity, but also in a variety of sizes and materials. There are about 70 different blank rolls used for making the grooves, and considering the rolls pass design, there are about 500 positions that differ significantly from each other.

The range of rolls consumption per ton of rolled products may differ significantly depending on the rolled profile [2]. In long products shop the share of costs for rolls in 2006 amounted to about 15% of the total costs of production area, which is worth paying attention. If we calculate the consumption of rolls on specific rolling profiles, the product mix in long products shop has about five hundred profiles, we shall get a very heterogeneous structure. The rolls consumption during rolling of different profiles can differ by tens of times. However, only the average cost price is calculated, despite the fact that different profiles can bring different profits, and probably some sort of

products is unprofitable. The calculation of costs in terms of distribution of costs for rolls can be performed much more accurately. At least, it is quite possible to distribute these expenses by groups of profiles, since the costs for rolls are inherently direct and variable [3].

To solve the task, it is necessary to have accurate information about how many rolls are consumed and to what types of products. The knowledge of rolls consumption is also necessary for the development of a rational budget for rolls for the next year of rolling mills operation.

The lack of necessary information makes it impossible to solve other pressing problems. In particular, it is impossible to analyze the causes of rolls breakage, and, consequently, develop justified measures to reduce them. It is extremely difficult to carry out experimental work on changing the pass design and material of rolls, since there are a lot of such experiments and they last for many months, so the results can be obtained only in the form of statistical indicators. The lack of such information forces us to draw conclusions based on indirect and subjective sources.

An important task is the effective combination of grooves on rolls. A large number of rolls are cut into different grooves. If this is not done, the consumption of the rolls will be reduced, but the total number of rolls that are in operation will increase several fold. There is every indication of the optimization problem.

The great complexity of long products shop rolls handling facility makes it difficult to manage and generates mistakes when working with it, which lead to a decrease in production and quality of rolled products.

### **Development of Basic AIS Regulations for Rolls Handling Facility Control**

The basis for solving the described problems can become an automated information system (AIS) for accounting and management of long products shop rolls handling facility.

The current stage of development is characterized by the transition to an information society. No organization can carry out its activities without information. In the normal functioning of an organization, in terms of its management all the employees, from a simple worker or an employee to the director need a variety of information. At the same time, information processes are not the end in themselves; their aim is the ultimate control of material flows and their interaction. In this connection, the solution of rational use problems of modern and promising methods and means of processing information in practical activities acquires paramount importance. Domestic and foreign experience convincingly proves that the development of metallurgical enterprises, the solution of quality problems and competitiveness of steel products in the world market require radical improvement of systems for collecting, storing, processing, transferring and using the information [4]. This is the only way to significantly increase the effectiveness of professional activity. The application of new information technologies makes it necessary to carry out a new evaluation of the effectiveness of an enterprise's activity [5]. Information technologies are also the basis for success of the application of logistics and new approaches to organization of business processes.

However, the most important advantage of an automated accounting system is that the management can at any time observe an objective picture of their business and immediately analyze it. A PC will show the current situation and the process history. It makes it possible to control all aspects of the activity and see what has slipped of our attention before [6].

There is a need for system that will take into account the specifics of mills' operation and their product mix. At the same time, the work on information input should be evenly distributed among employees who are the carriers of such information. Such a system should become the information foundation of management activity, and not be limited only to accounting. The commissioning of such a system is aimed at reducing the costs of a production area, improving electronic document management, continuous evaluation and analysis of performance, improving the manageability of the workshop. Such AIS are created using database technology, which is well developed and widely used. To create such systems, high-performance computing equipment is not required.

Each roll experiences various events from the moment of purchase to the moment of disposal. Each roll can have its own unique history of such events. Despite the diversity, the "life path" of

any roll can be put in a general scheme. In the block diagram of possible events (Fig. 1), rectangles indicate the events themselves, and rhombuses - the stages of decision making.

Then the main principle that lets us know the history of each roll will be the mandatory reflection of all the events in AIS.

AIS of rolls handling facility management will allow to evaluate a number of key indicators that reflect the system's efficiency.

These are the following recommended indicators:

- rolls consumption per unit of time (current stock of rolls);
- insurance stock of rolls;
- number of rolls in operation;
- number of rolls in warehouses;
- fleet of rolls (total number of rolls);
- rolls consumption per 1 ton of rolled steel;
- rolls resource;
- coefficient of a roll use;
- illiquid stock of rolls;
- turnover of rolls.

All the above indicators should be calculated automatically and also automatically presented in the form of monthly and annual reports. In addition, reports should include checksums that will show the reliability of the information provided, for example, the amount of rolled steel according to AIS data and the actual amount for the same period.

Along with automatically generated reports, the system should allow the creation of a report on the user's request to obtain the necessary information in a convenient form.

AIS of accounting and management of rolls handling facility of long products shop opens up new opportunities for reducing production costs.

### **Ways to Reduce Costs and the Economic Effect with Introduction of AIS**

One way to reduce costs of mill rolls is to increase the coefficient of their application. Rolls never reach their resource up to 100%. It has to do with the following reasons:

- rolls breakage;
- errors during grooving;
- combination of grooves on a roll body;
- a roll is sent to grooving with unused passes.

It is hardly possible to completely eliminate these reasons, but it is possible to reduce their impact due to a more accurate accounting system.

In particular, the availability of a digital database for rolls calibration will eliminate the need to have paper drawings. Since calibration is constantly changing for various reasons, there are many versions of drawings that can not be tracked. This will also increase labor productivity due to elimination of many unnecessary activities.

The roll pass design department, as the developer of drawings, will have to keep the database up to date, which can not be done with a lot of paper copies. In addition, the database could contain rolling modes for operators and rollermen. The existence of a single, correct, up to date and available for everybody version of rolls pass design will contribute to order and reduce errors.

The goal of combining different passes on rolls is to reduce the fleet of rolls and number of rolls change, because one and the same rolls can roll different profiles. However, monthly rolling campaigns differ from each other in the composition of profiles and volume of orders. It means that not all grooves are used in this campaign, and leaving them to the next one is not rational. It is not possible to refuse to combine the passes due to the fact that this will lead to an increase in the rolls fleet several times. But it is possible to make it more rational having full information about the grooves application.

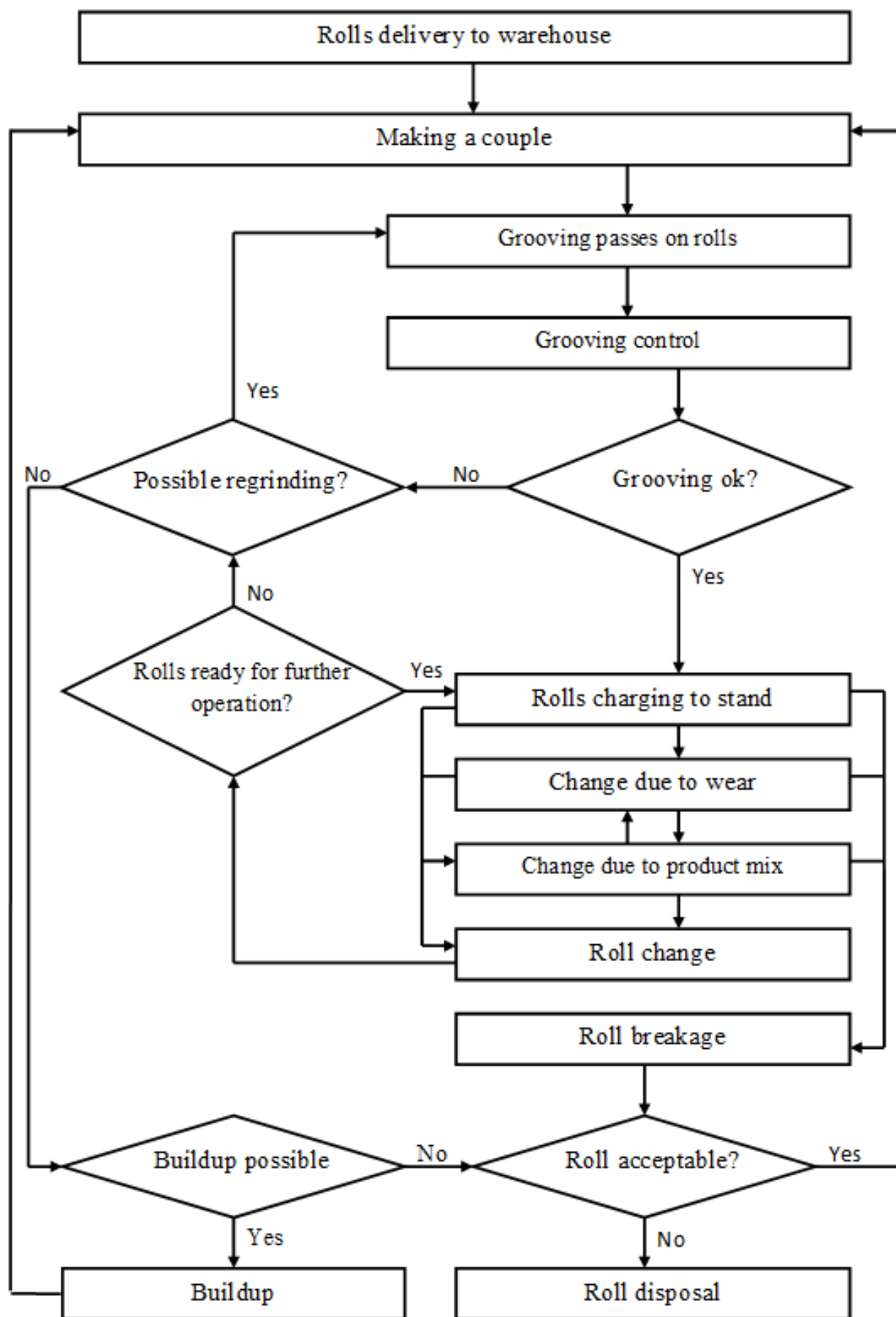


Fig 1. Event flow chart



Another, perhaps the most significant, way of reducing costs is in the field of controlling the stock of rolls [7]. Using scientific methods of inventory management allows us to identify hidden internal resources of the enterprise. Managing the production stock – means that you are always able to meet the requirements of production. If the inventory management is carried out taking into account this requirement, then its implementation is possible only on the basis of a certain level of reserves. The more stocks, the easier it is to meet the demand for them. But this condition distracts significant amount of circulating assets into stocks and reduces their turnover, i.e. reduces the efficiency of using the means of production. But a small number of them leads to losses. The methods for regulating reserves tend to be more effective if there is more information on demand available. The use of recommendations of the theory of inventory management requires a scientific approach to studying the patterns of demand. In our case, while we are talking about controlling the stock of rolls, the customer is a rolling mill. The information on rolls consumption should be concentrated in AIS, which will serve as the basis for determining economically justified norms of a marginal level of rolls stock. A distinctive feature of the rolls handling facility of PJSC “MMK” long products shop is that the insurance stock of rolls considerably exceeds the current stock. It has to do with a wide product mix and high inertia of the production process, the continuity of which is extremely important. Therefore, the greatest effect can be expected from reduction of the insurance stock. When making a stock of rolls, we are still guided by the principle - the more, the better. And at the same time we refer to Soviet norms [8], which are clearly outdated. It is also not acceptable to apply these norms because modern mills are equipped with rolls with much higher resource. The experience acquired during operation of new mills indicates that the available stock of rolls is not optimal. The real resistance of grooves turned out to be higher than it was assumed in the construction of mills.

A particular interest is the illiquid stock of rolls - these are rolls with grooved calibers, but they are not used. It has to do with the fact that the workshop's product mix contains very rare rolling profiles that can be rolled once in few years. As a rule, the volume of orders for such products does not exceed 120 tons. Therefore, rolls service life for these profiles can be hundreds of years. From the point of view of functional and cost analysis, it is not rational to have rolls with service life exceeding the service life of a rolling mill. Moreover, a few years is quite a long period during which many things can change (the consumer will disappear or its technology will change and the need for this profile will vanish). In view of the above, it would be more rational to regrinding such rolls to other profiles. Another way is to groove passes of rare profiles on the rolls that have ended a part of their performance potential, and not preserve their resource for many years. There may be other solutions. In any case, it is necessary to consider each specific case individually, and without full information it is impossible.

## Conclusion

The analysis of that insignificant information available today makes it possible to expect that after the implementation of AIS a fleet of rolls can be reduced. This is possible due to a clearer definition of grooves stability and rolls consumption, and therefore a smaller re-evaluation of the risk of formation of rolls deficit [9], reduction in the number of errors and a more rational combination of grooves.

In the modern world the information in terms of its importance is not inferior to other resources and information technologies is the most dynamically developing sphere of life [10, 11, 12]. It is Obvious that a large enterprise has no future without the development of this sphere.

We have illustrated how an automated control system, quite simple in the development and operation, can affect the production process [13, 14]. With the right approach to the matter, information systems can provide a serious competitive advantage.

## References

1. F.S.Dubinsky, A.I.Chubayev, M.A.Sosedkova. Automated system for planning and monitoring the rolls fleet, Proceedings of the Sixth Congress of Rollers (Lipetsk, October 18-21, 2005), Moscow 1 (2005) 508-511.
2. A.V.Tretyakov. Rolls of roughing, section, and sheet mills, Moscow, SP INTERMET ENGINEERING, 1999.
3. G.D.Feigin. The organization of rolls handling facility, Moscow, Metallurgizdat, 1961.
4. M.G.Lapusta, CEO's record book, Ed. 2-nd, corrected. and additional, Moscow, INFRA-M, 1998.
5. A.Gaponenko. Information technologies of an enterprise management. Ways to increase their effectiveness, Director's consultant, 21 (2004) 16-20.
6. N.A.Spirina. Information systems in metallurgy, Textbook for universities, Ekaterinburg, Ural State Technical University, UPI, 2001.
7. A.M.Zevakov, V.V.Petrov. Logistics of industrial and commodity stocks, Textbook, SPb., 2002.
8. Technological instruction TI 101-P-SPSH-198-87. Production of hot-rolled profiled sections on mill 250-1. Magnitogorsk, 1988.
9. Linders R.Michael, Phiron E.Harold. Supply and Inventory Management. Logistics, Translated from English, St. Petersburg, Polygon, 1999.
10. A.B.Moller, A.A.Zaitsev, O.N.Tulupov. Model of setting up a bar mill with a matrix description of shaping in passes of simple form, Steel in Translation, 29(10) (1999) 59-63.
11. O.N.Tulupov, A.B.Moller. Simulation of bar rolling: Experience at Nosov Magnitogorsk State Technical University, Steel in Translation. 44(4) (2014) 280-288.
12. D.V.Nazarov, E.A.Zakharov, S.V.Denisov, A.B.Moller, K.A.Zavyalov. Assessing channel rolling on a 450 mill, Steel in Translation. 39(10) (2009) 901-905.
13. A.B.Moller, O.N.Tulupov, S.A.Fedoseev. Improvement of surface quality of rolled section steel for springs manufacturing, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 52(4) (2017) 647-654.
14. S.A.Levandovsky, O.N.Tulupov, A.B.Moller, D.I.Kinzin, Improvement of the slitting process for rebar rolling to increase the material yield and rolling mill 370 utilization at PJSC MMK. CIS Iron and Steel Review. 15(2) (2018) 18-23.

**М.И.Румянцев, А.Н.Колыбанов**  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И.Носова»

## ВТОРОЕ УПРОЩЕНИЕ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИИ ВАЛКОВ И ПРОФИЛЯ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ В КЛЕТИ КВАРТО С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

*Аннотация.* В статье описаны план и результаты компьютерного эксперимента на основании которых получены нелинейные аппроксимации для упрощенного расчета модулей поперечной жесткости валкового узла клетки кварто СХП 2500.

*Ключевые слова:* деформация валков, профиль полосы, модуль жесткости, планирование эксперимента, клеть кварто.

### Введение

В статье [1] была сформулирована и поставлена задача упрощения расчета деформации валков клетки кварто и профиля полосы путем отыскания модулей жесткости от усилия прокатки  $M_B^P$  и регулирующей силы  $M_B^Q$  в виде полиномиальной зависимости для конкретного стана. Данная задача была выполнена в работе [2] с помощью методики планирования эксперимента для стана ШСП 2500. Теперь необходимо отыскать зависимость модулей жесткости от усилия прокатки и регулирующей силы для стана холодной прокатки 2500.

### План эксперимента

Эксперимент будет осуществляться с помощью компьютерной программы с использованием математической модели [3-7]. Предметом исследования выбрана чистовая клеть СХП 2500 ПАО «ММК». Целью эксперимента является замена вышеупомянутой модели зависимостью в виде полинома.

В качестве влияющих факторов на модули жесткости валковой системы были выбраны: 1) ширина прокатываемой полосы  $B$ ; 2) длина межвалкового контакта  $L_{op}$ ; 3) коэффициент податливости полосы  $K_{\Delta h}$ ; 4) усилие прокатки  $P$ ; 5) диаметр рабочего вала  $D_p$ .

Согласно методике планирования эксперимента [8], выбираем центральный композиционный ротатбельный план второго порядка. Выбрано пять влияющих факторов, следовательно, план является пятифакторным. Всего будет проведено 52 опыта, 32 из которых соответствуют полному факторному эксперименту («ядро» плана), 10 опытов со «звездными» точками и 10 опытов в центре плана. Диапазон изменения факторов выбираем согласно возможному изменению этих факторов на СХП 2500. Уровни варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Факторы	$B$ , мм	$L_{op}$ , мм	$P$ , МН	$K_{\Delta h}$ , кН/мм	$D_p$ , мм
Основной уровень, (0)	1550	2205	18	20250	500
Интервал варьирования	275	148	9	9875	15
Верхний уровень, (+1)	1825	2353	27	30125	515
Нижний уровень, (-1)	1275	2058	10	10375	485
Звездная точка, (+2)	2100	2500	35	40000	530
Звездная точка, (-2)	1000	1910	1	500	470

## Результаты эксперимента

После того, как получили уравнения регрессии, по методике [8], и осуществили переход от них к полиномам с натуральными факторами, получили два уравнения модулей жесткости валков от усилия прокатки  $M_B^P$  и регулирующей силы  $M_B^O$ :

$$M_B^P = -23,758 + 0,083D_p - 6 \cdot 10^{-5} D_p^2 - 0,001B + 6 \cdot 10^{-6} B^2 + 7 \cdot 10^{-6} K_{\Delta h} - 2 \cdot 10^{-10} + 0,128P - 3 \cdot 10^{-4} P^2 + 0,004L_{op} + 3 \cdot 10^{-6} L_{op}^2 + 8 \cdot 10^{-7} D_p B - 4 \cdot 10^{-20} D_p K_{\Delta h} + 5 \cdot 10^{-21} B K_{\Delta h} + 8 \cdot 10^{-5} D_p P + 4 \cdot 10^{-6} B P + 2 \cdot 10^{-20} K_{\Delta h} P - 8 \cdot 10^{-6} D_p L_{op} - 8 \cdot 10^{-6} B L_{op} - 9 \cdot 10^{-21} K_{\Delta h} L_{op} - 4 \cdot 10^{-5} P L_{op}; \quad (1)$$

$$M_B^O = 3,422 - 0,013D_p + 10^{-5} D_p^2 + 10^{-4} B - 6 \cdot 10^{-6} B^2 - 10^{-6} K_{\Delta h} + 3 \cdot 10^{-11} K_{\Delta h}^2 + 0,005P + 5 \cdot 10^{-5} P^2 - 2 \cdot 10^{-4} L_{op} - 5 \cdot 10^{-7} L_{op}^2 + 2 \cdot 10^{-6} D_p B + 7 \cdot 10^{-21} D_p K_{\Delta h} - 10^{-21} B K_{\Delta h} - 2 \cdot 10^{-5} D_p P + 2 \cdot 10^{-5} B P - 5 \cdot 10^{-21} K_{\Delta h} P - 5 \cdot 10^{-7} D_p L_{op} + 10^{-6} B L_{op} + 9 \cdot 10^{-22} K_{\Delta h} L_{op} - 2 \cdot 10^{-5} P L_{op}. \quad (2)$$

На рис.1, 2 представлены диаграммы соответствия модулей жесткости валков от усилия прокатки и регулирующей силы соответственно, рассчитанные с помощью модели [3-7] и полученных уравнений (1-2). В табл. 2 приведены относительные  $\delta$  и абсолютные  $\Delta$  погрешности, коэффициент детерминации (степень соответствия)  $R^2$  и действенность [9-10]  $E_\delta$  полученной математической модели при  $|\delta| \leq 5-15\%$ . Указанные оценки качества модели показывают, что ее соответствие результатам эксперимента можно считать хорошими.

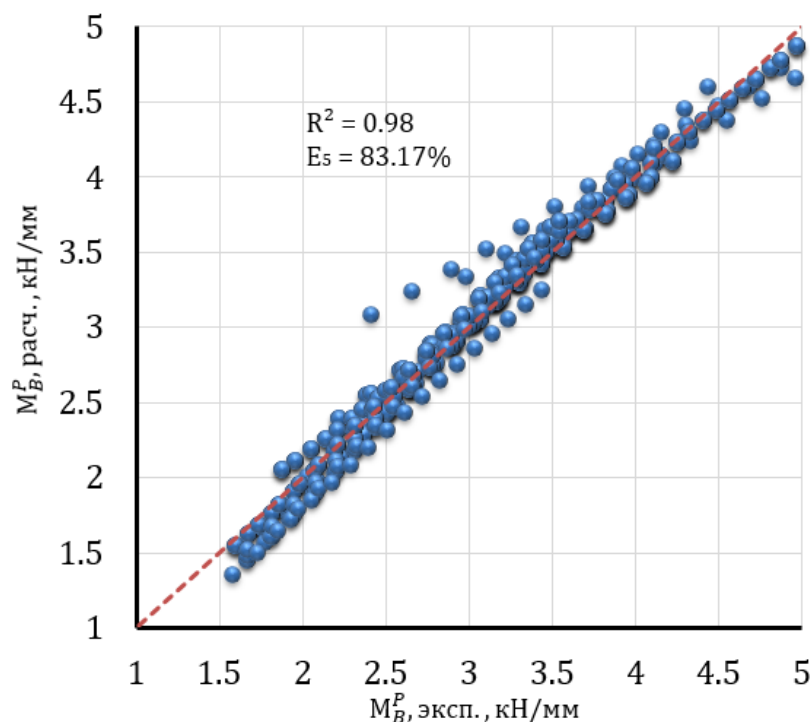


Рис. 1. Диаграмма соответствия модуля жесткости от усилия прокатки

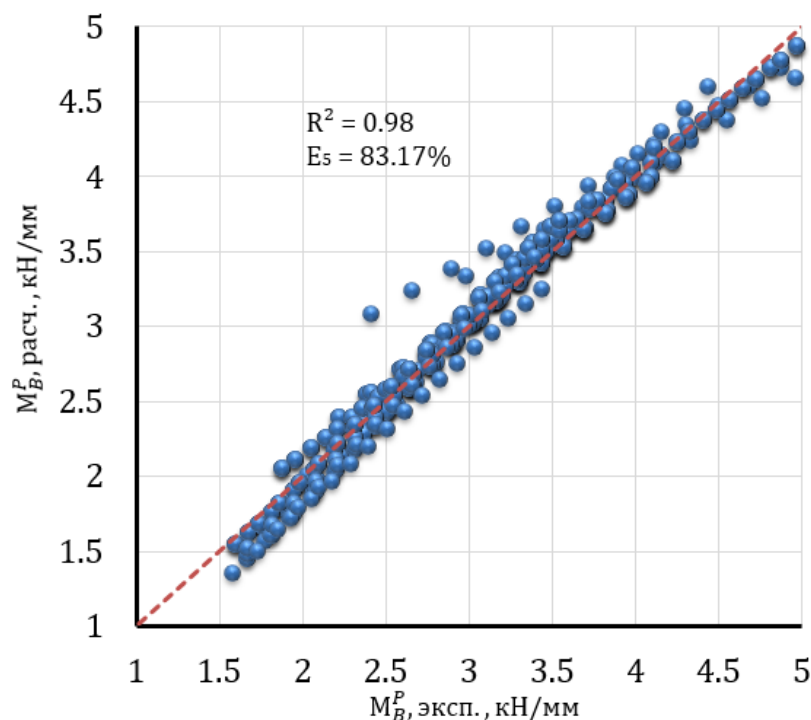


Рис. 2. Диаграмма соответствия модуля жесткости от регулирующей силы

Таблица 2

## Оценочные характеристики математической модели

Модуль жесткости валков от усилия прокатки (1)							
$\delta, \%$	$\delta_{\text{ср}}, \%$	$\Delta, \text{кН}$	$\Delta_{\text{ср}}, \text{кН}$	$R^2$	$E_5, \%$	$E_{10}, \%$	$E_{15}, \%$
-27.69...14.70	0.07	-0.67...0.80	0.00	0.98	83.17	96.58	99.59
Модуль жесткости валков от регулирующей силы (2)							
$\delta, \%$	$\delta_{\text{ср}}, \%$	$\Delta, \text{кН}$	$\Delta_{\text{ср}}, \text{кН}$	$R^2$	$E_5, \%$	$E_{10}, \%$	$E_{15}, \%$
-13.54...14.20	0.72	-0.08...0.33	0.01	0.99	73.32	95.21	99.23

Таким образом, были получены математические модели (1-2), которые позволяют прогнозировать модули жесткости валков от усилия прокатки  $M_B^P$  и регулирующей силы  $M_B^Q$  с хорошей математической действенностью (табл.2).

### Исследование полученных математических моделей для прогноза модулей жесткости от усилия прокатки и регулирующей силы

Были выполнены дополнительные исследования прогнозирования модулей жесткости валков при условиях прокатки (табл. 3) для мягкой и нагартованной полосы. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Таблица 3

#### Режимы прокатки при компьютерном исследовании условий прокатки для расчета модулей жесткости валков при холодной прокатке

№	$h_0, \text{мм}$	$h_1, \text{мм}$	$\sigma_{T0}, \text{МПа}$	$\sigma_{T1}, \text{МПа}$	$D, \text{мм}$	$B, \text{мм}$	$P_n, \text{МН}$	$P, \text{МН}$	$K_{\Delta h}, \text{кН/мм}$
Мягкая	2	1,2	230	546	500	1000...2100	6,8	6,8...14,3	17000...35700
Нагартованная	1,2	0,7	546	653			8,6	8,6...18,1	17200...36120

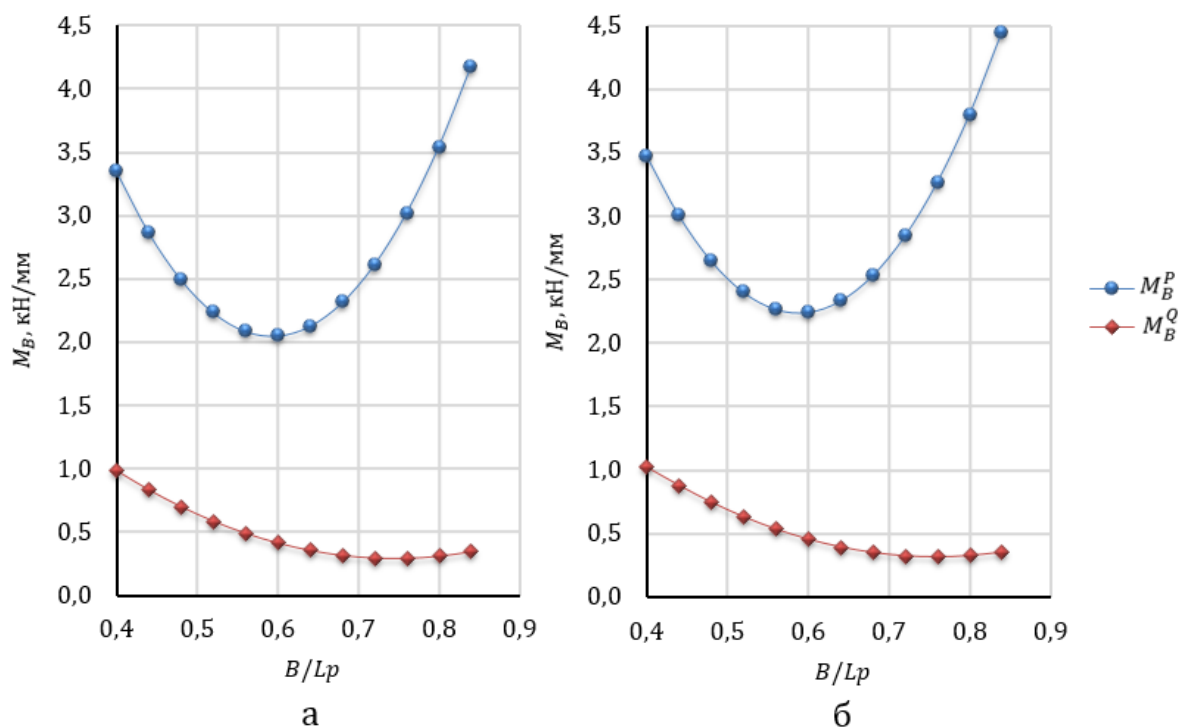


Рис. 3. Зависимость модулей жесткости валков от ширины полосы для мягкой (а) и нагартованной (б) полосы

Из графиков выше видим, что при прогнозировании модуля жесткости валков от усилия прокатки  $M_B^P$  минимальное значение получается при  $B/L_p = 0,6$  как для мягкой, так и для нагартованной полосы. А значение модуля жесткости от регулирующей силы  $M_B^Q$  уменьшается с увеличением ширины полосы до тех пор, пока отношение  $B/L_p$  не достигнет величины 0,6. При дальнейшем увеличении ширины  $M_B^Q$  практически не изменяется.

### Заключение

С использованием методики планирования эксперимента, были получены два полинома второй степени, которые позволяют упростить расчет [3-7] модулей поперечной жесткости валков от усилия прокатки  $M_B^P$  и регулирующей силы  $M_B^Q$  для валкового узла клетки СХП 2500 ПАО «ММК».

Действенность математической модели в виде указанных полиномов при допустимой погрешности 5% составляет 83,17% для модуля жесткости от усилия прокатки (1) и 73,32% от регулирующей силы (2). Расчет по этим выражениям производится за короткое время, что является значительным преимуществом для производственных условий. Итоговый результат (табл. 1, 2, рис. 1, 2) характеризует модель как приемлемую для расчетов упругих деформаций валковой системы с целью оценки ограничений по поперечной разнотолщинности и плоскостности прокатанной полосы.

В ходе компьютерного исследования также установлены следующие закономерности влияния условий прокатки на модули жесткости валков. Значение модуля жесткости валков от усилия прокатки  $M_B^P$  имеет свой минимум при соотношении  $B/L_p = 0,6$ . А модуль жесткости валков от регулирующей силы  $M_B^Q$  при увеличении отношения  $B/L_p$  до 0,6 монотонно уменьшается, а в дальнейшем фактически стабилизируется на примерно постоянном уровне.

**Библиографический список**

1. Румянцев М.И., Колыбанов А.Н. Постановка задачи упрощения расчета деформации валков и профиля полосы при прокатке в клети кварто // Калибровочное бюро: электрон. науч. журн. №12. 2018. С.18-21. URL: <http://passdesign.ru>.
2. Колыбанов А.Н. Упрощение расчета деформации валков и профиля полосы при прокатке в клети кварто с применением методики планирования эксперимента // Калибровочное бюро: электрон. науч. журн. №12. 2018. С.22-25. URL: <http://passdesign.ru>.
3. Мельцер В.В., Салганик В.М. Матричный метод расчета деформации и профилировки валков листопркатной клети кварто: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГМИ, 1970. 50 с.
4. Салганик В.М., Мельцер В.В., Омельченко Б.Я. Расчет профилировки валков листопркатных станов / МГТУ им. Г.И. Носова. Свердловск, 1977. 57 с.
5. Салганик В.М., Мельцер В.В. Исследование на ЭВМ деформаций и нагрузок валковой системы кварто: Учеб. пособие. Свердловск: Изд. УПИ, 1987. 78 с.
6. Salganik V. Mathematical modeling of roll load and deformation in a four-high strip mill // Metal Forming. The University of Birmingham. UK September 9-11. 2002.
7. Омельченко Б.Я., Румянцев М.И., Федоров Д.С. Модель формирования профиля полос в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005гг. Сб. докладов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2006. С.48-51.
8. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; 1980. 304 с.
9. Румянцев М.И. Методы разработки и улучшения технологий производства проката для совершенствования листопркатных технологических систем // Теория и технология металлургического производства. 2017. №4 (23). С.26-36.
10. Румянцев М.И. К вопросу построения математических моделей для исследования процессов прокатного производства / Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Б.Моллера. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова. 2018. Вып. 24. С.18-24.

● INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH ●

**M.I.Rumyantsev, A.N.Kolybanov**  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

**SECOND SIMPLIFICATION OF CALCULATION OF THE DEFORMATION  
OF ROLLS AND STRIP PROFILE FOR ROLLING IN THE FOUR-HIGH STRIP MILL  
WITH THE EXPERIMENTAL PLANNING**

*Abstract. The article present the information about the plan and results of the computer experiment on the basis of which nonlinear approximations were obtained for the simplification calculation of the modulus of rigidity of the rolls of the four-high strip mill 2500 cold rolling.*

*Keywords: deformation of rolls, strip profile, modulus of rigidity, experimental planning, four-high strip mill.*

**В.Ю.Рубцов**

АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»

**О.И. Шевченко**

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНОЙ ВПАДИНЫ

*Аннотация.* Представлены существующие на сегодняшний день способы изготовления шаропрокатных валков с учетом возможностей металлорежущего оборудования. Определены перспективы развития методик калибровки шаропрокатных валков с возможностью получения деталей любой формы сложности по спроектированным 3-D моделям на 4-х и 5-и координатных обрабатывающих центрах. Разработана модель расчета шаропрокатных валков с переменной глубиной впадины. Представлены способы изготовления шаропрокатных валков с калибровками, которые позволят получить высокую степень точности получаемого шара, включая точность геометрических размеров, равномерность обжатия по экватору и полюсам.

*Ключевые слова:* шаропрокатный валок, переменная глубина впадины, 5-координатные обрабатывающие центры, продольная подача, окружная подача.

### Введение

В процессе прокатки шаров на двухвалковых станах поперечно-винтовой прокатки, формовка шара осуществляется ребрами валков, высота которых постоянно возрастает. Высота реборды калибра может изменяться по известным законам (рис. 1):

- по закону прямой линии [1], данный метод используется в большинстве случаев для упрощения расчета калибровки и изготовления профиля валка, так получение такого профиля возможно по всем известным методам изготовления шаропрокатных валков;
- по закону параболической линии [2] – возможно только на некоторых станках с ЧПУ, где осуществляется независимое регулируемое перемещение поперечной подачи по параболическим законам, а также на копировальных станках;
- по гиперболическому закону на практике не применялся.

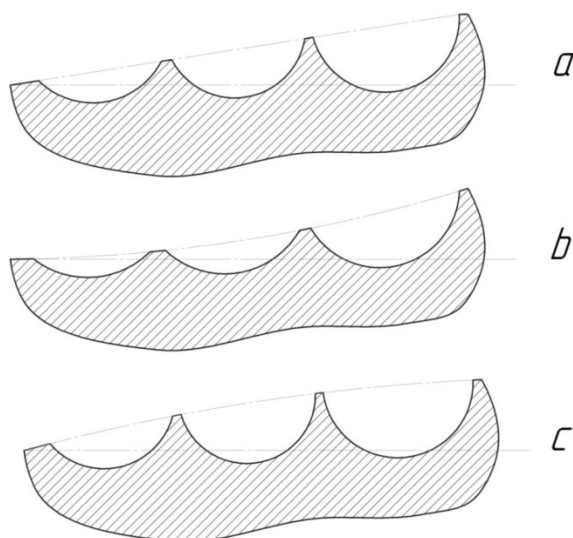


Рис. 1. Изменение высоты реборды валка:

а – по линейному закону; б – по параболическому закону; в – по гиперболическому закону



Кроме этого, необходимо сохранение постоянства объема в калибре, поэтому на валках шаропрокатных станов винтовая канавка, ограниченная ребрами, имеет переменный шаг. В связи с этим существует несколько основных типов калибровок шаропрокатных валков и способов их изготовления.

### Типы калибровок шаропрокатных валков

Самая первая схема прокатки была предложена в 1888 году по патенту [3] (рис. 2). В данной схеме, для компенсации искажения калибров из-за их разворота на угол подачи, было предусмотрено выполнение винтовых калибров на гиперboloиде, однако из-за сложности изготовления и малого искажения калибров такой способ не был реализован. Впервые опыт прокатки с практическим применением был произведен в 1950-х годах под руководством А.И.Целикова.

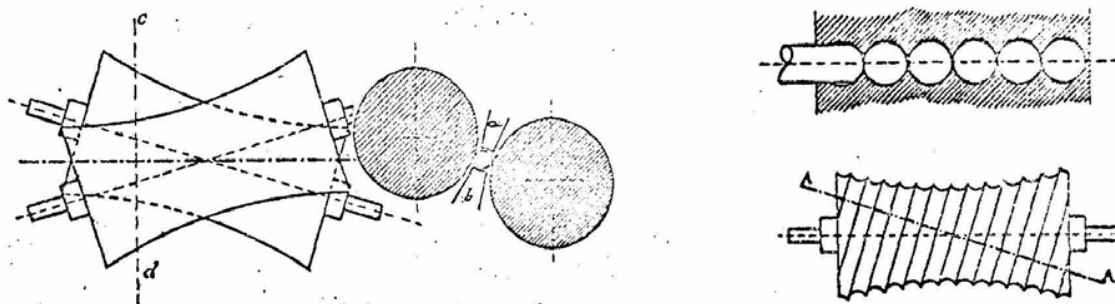


Рис. 2. Схема прокатки шаров (Германия 1888г.)

Кроме оригинальной методики, разработанной А.И.Целиковым [4], существует методика, представленная в работах отечественных авторов [1, 5, 6], а также зарубежных авторов [7-10], но обе методики применимы к валкам с дискретным шагом. Вышеперечисленные методики калибровок сводятся к подбору оптимального набора шагов и характерных им пар сменных шестерен, для обеспечения наиболее равномерного обжатия. Изготовленные таким методом валки требуют обкатки на стане. В калибровках, используемых для токарно-винторезных станков после предварительного расчета шага, производится его подбор согласно ближайшим значениям передаточного отношения, обеспеченного подбором сменными шестернями, затем производится проверочный расчет на заполнение калибров.

Впервые возможность применения непрерывно-изменяющегося шага описана в книге [4], где было предположено применение специальных копировальных устройств для его обеспечения. Одним из первых исследовал и использовал непрерывно-меняющийся шаг В.И.Котенок [11-13]. Его способ калибровки заключается в применении непрерывно-изменяющегося шага по заданной функции с использованием копировальных полуавтоматов. Согласно методу, предложенного В.И.Котенком, изменение шага калибра обеспечивает копировальный механизм к токарно-винторезному станку, а установку валков – специальная планшайба (рис. 3).

Авторы из Люблинского Технического университета используют в своих работах метод конечных элементов с построением 3-D модели. Этими учеными была предложена модель конусообразных валков (рис. 4).

Также существует промышленный опыт применения калибровки валков с непрерывно-изменяющимся шагом с использованием 3-D модели, построенной по правилу кривых 2-го порядка, образованных 5-ю точками, который описан в статье [14].

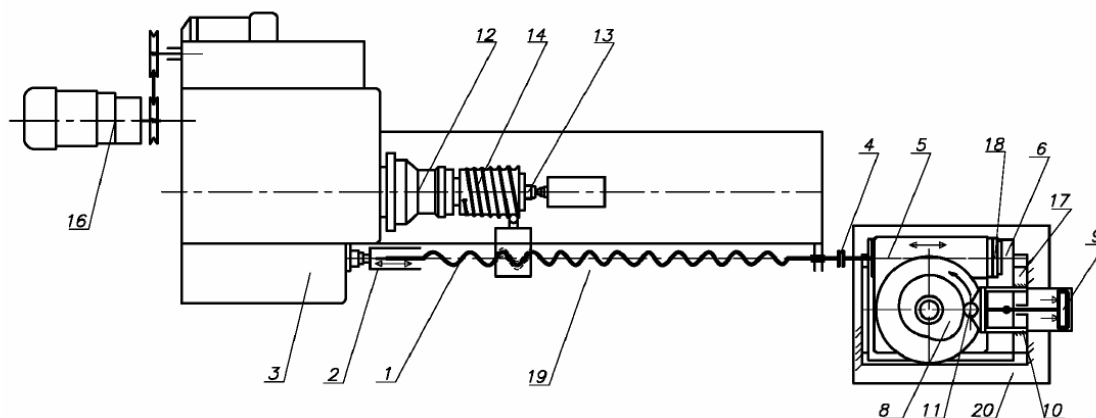


Рис. 3. Технологический процесс изготовления валков ШПС с винтовым калибром переменного шага по методу В.И.Котенок

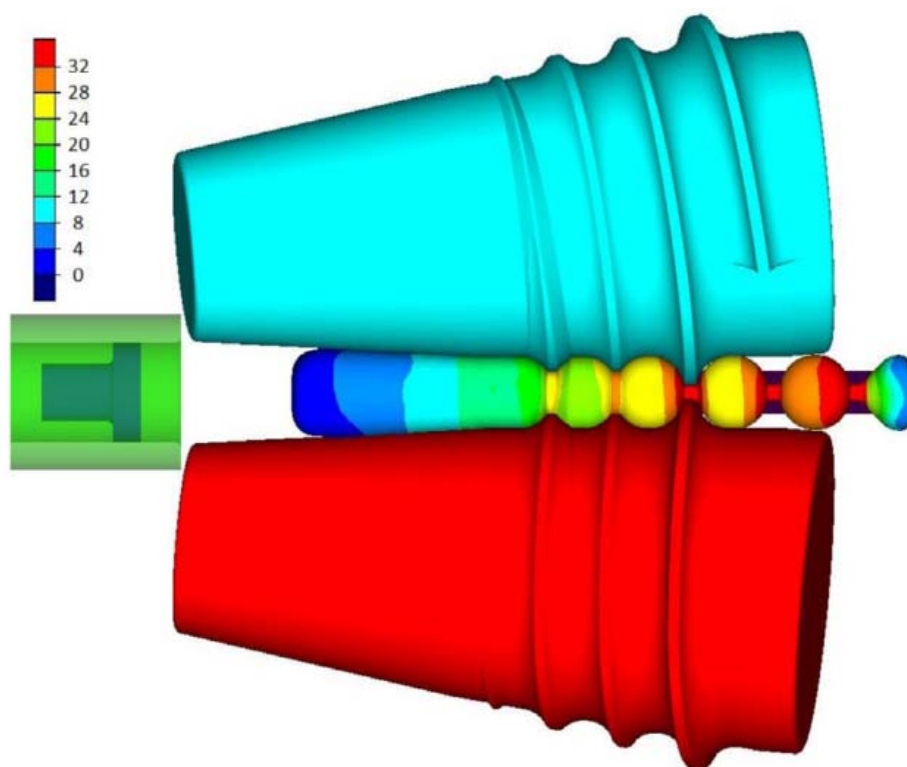


Рис. 4. Вариант калибровки с применением конусообразных валков [10]

Функция изменения шага, для валков с непрерывно-меняющимся шагом и постоянной шириной реборды, по которой определяют 5 точек винтовой кривой:

$$\Delta t_{\alpha} = T_{осн} - \int_R^0 \frac{\pi b_{\alpha} (R^2 - x^2) + x^2 (R - x/3)}{\pi R^2} dx, \quad (1)$$

где  $b_{\alpha}$  – ширина реборды (длина перемычки);  $R$  – радиус сферы условного калибра (глубина впадины валка);  $T_{осн}$  – основной шаг калибровки (задается во время проектирования с учетом ширины реборды).

Также была выведена функция изменения шага для валков с непрерывно-меняющимся шагом и увеличивающейся шириной реборды по мере заполнения калибра по закону подъема реборды:

$$\Delta t_{\alpha} = T_{осн} - \int_R^0 \frac{\pi b_{\alpha m} (1 - x) + x^2 (R - x/3)}{\pi R^2} dx. \quad (2)$$

Изготовление валков по данной 3-D модели с постоянной шириной реборды производилось на 5-координатном обрабатывающем центре (рис. 5). В итоге были получены положительные результаты прокатки, а значит применения метода обработки валков с переменными параметрами на металлорежущем оборудовании с ЧПУ. С учетом перспективы использования современного оборудования для изготовления шаропрокатных валков, можно задаться таким переменным параметром, как глубина впадины.



Рис. 5. Изготовление шаропрокатных валков на 5-координатном обрабатывающем центре

### Модель расчета калибровки валков с переменной глубиной впадины

В предлагаемой калибровке основной переменной будет изменение глубины впадины витков калибра. С учетом условия прочности была задана постоянная ширина реборды. Применяя известные параметры, находим изменение радиуса образующей шара (рис. 6).

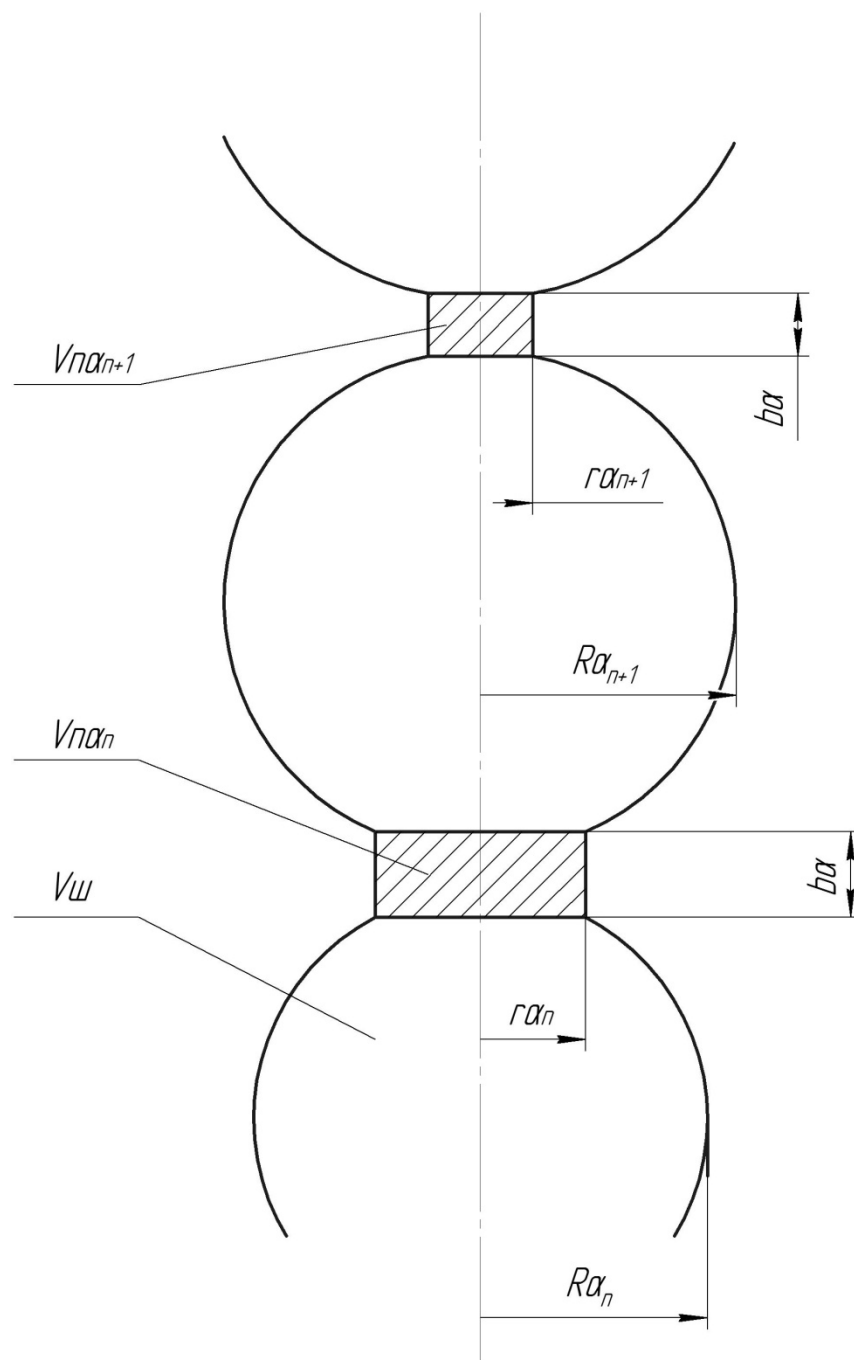


Рис. 6. Сечение заготовки во время прокатки с углублением впадины

Для данной калибровки справедливо уравнение:

$$V_{n\alpha_n} + V_{ш\alpha_n} - V_{n\alpha_{n+1}} - V_{ш\alpha_{n+1}} = 0, \quad (3)$$

где  $V_{n\alpha_n}$  – объем усеченной перемычки условного калибра,  $V_{ш\alpha_n}$  – объем усеченного шара условного калибра,  $V_{n\alpha_{n+1}}$  – объем усеченной перемычки в следующем витке условного калибра,  $V_{ш\alpha_{n+1}}$  – объем усеченного шара в следующем витке условного калибра.

При подстановке значений объемов простых фигур, составляющих данную систему, получаем:

$$\pi r_{an}^2 b_a + \left[ \frac{3}{4} \pi R_{an}^3 - r_{an}^2 \left( R_{an} - \frac{r_{an}}{3} \right) \right] - \pi r_{an+1}^2 b_a - \left[ \frac{3}{4} \pi R_{an+1}^3 - r_{an+1}^2 \left( R_{an+1} - \frac{r_{an+1}}{3} \right) - r_{an}^2 \left( R_{an} - \frac{r_{an}}{3} \right) \right] = 0, \quad (4)$$

где  $r_{an}$  – радиус перемычки условного калибра.

Так как условно реборды сводятся до соприкосновения, получим:

$$\pi r_{an}^2 b_a + \frac{3}{4} \pi R_{an}^3 - \frac{3}{4} \pi R_{an+1}^3 = 0. \quad (5)$$

Таким образом, изменение глубины канавки

$$\Delta R = R_{an+1} - R_{an} = \sqrt[3]{\frac{4}{3} r_{an}^2 b_a + R_{an}^3} - R_{an}. \quad (6)$$

Исходя из того, что увеличение радиуса канавки происходит равномерно во всех направлениях, получим, что  $\Delta R = \Delta T$ .

Задав  $R = R_{\alpha_n}$ , где  $R$  – радиус заготовки, получим функцию изменения шага:

$$\Delta t = \int_0^R \left( \sqrt[3]{\frac{4}{3} x^2 b_a + R^3} - R \right) dx. \quad (7)$$

### Способы изготовления шаропрокатных валков по предлагаемым калибровкам

Имея функции (1, 2), можно легко определить изменение шага для калибровок с переменным шагом, получаемых способом развалки калибров. Большинство современных токарных станков с ЧПУ имеют независимую подачу и, написав программу с задачей необходимой функции изменения шага, можно получить требуемый профиль. Выбор постоянного или переменного шага реборды, будет зависеть от диаметра получаемого шара, марки стали, ее пластических свойств и ряда других параметров.

Получение калибровки с переменной глубиной впадины может быть обеспечено только на 5-координатных обрабатывающих центрах, причем в данном случае появляется ряд условий. С учетом того, что радиус одновременно увеличивается во всех направлениях, недостаточно иметь продольную и поперечную подачу, включая переменный шаг, необходимо иметь разлет обрабатываемого инструмента. Кроме этого, продольная подача будет увеличиваться одновременно с разлетом, что приведет к ряду проблем при использовании обрабатывающего центра на основе токарного станка, т.к. вращение самого вала будет незначительно по сравнению со скоростью резания.

Учитывая ряд действующих причин, определяем основные схемы возможной обработки, представленные на рис. 7.

На рис. 7А и 7В, обработка идет при помощи летучего резца с выдвигающимися режущими пластинами, где процессы резания происходят за счет скорости резания  $D_r$ , а поворот вала на заданные углы за счет окружной подачи  $D_{\alpha}$ . Увеличение радиуса обрабатываемой канавки происходит за счет выдвижения режущих пластин  $D_z$ . Закон выдвижения определяется формулой (7).

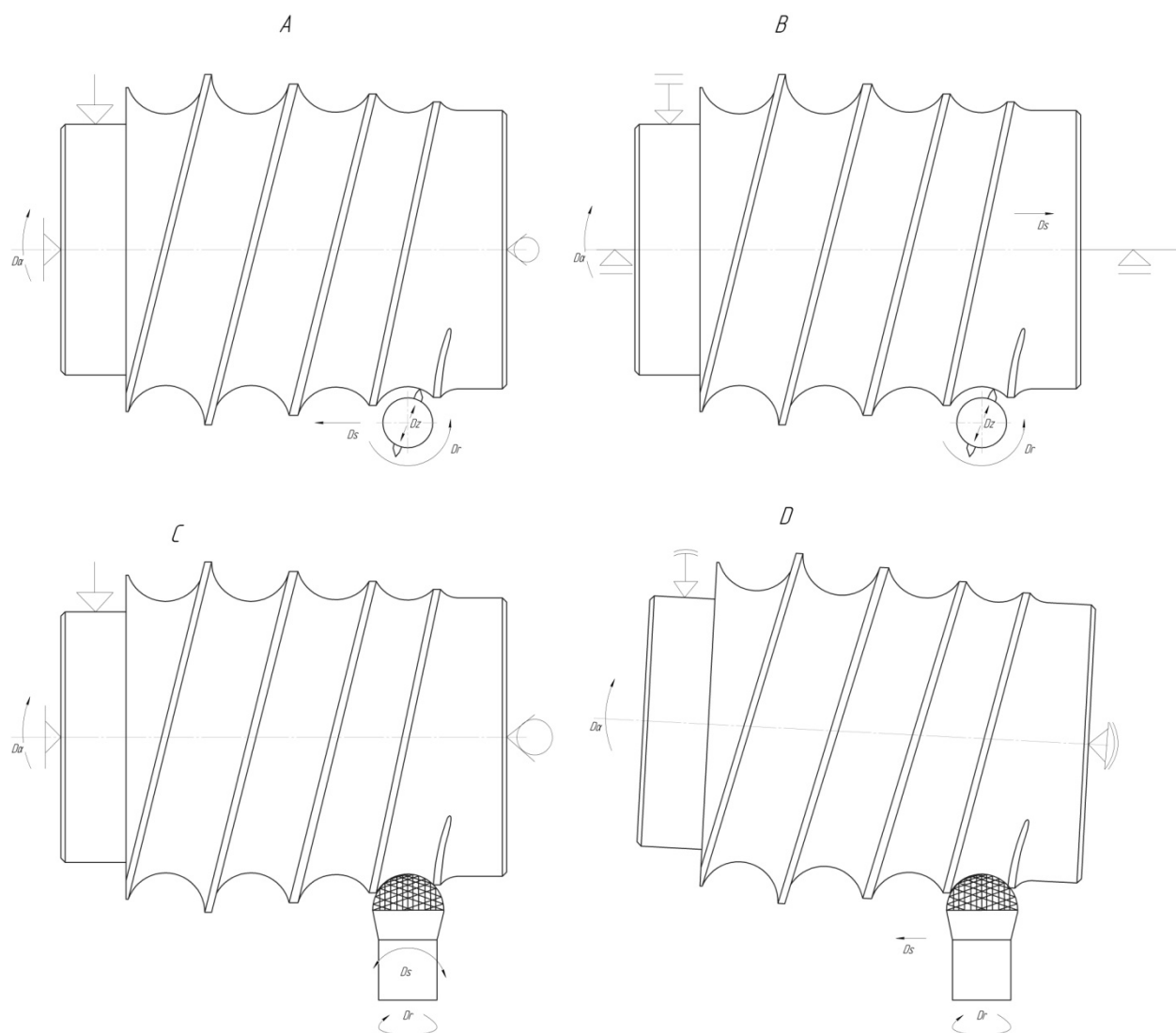


Рис. 7. Предполагаемые технологии обработки профиля

По этому же закону будет происходить изменение шага продольной подачи  $D_s = T_{осн} + \Delta t_\alpha$ . Разница между процессами А и В заключается только в направлении продольной подачи, и определяется возможностями станка, но в обоих случаях обработка возможна для валков, используемых для прокатки шаров большого диаметра (более 100 мм). Данное ограничение определяется величиной вылета резца.

Обработку валков, используемых для прокатки шаров диаметром менее 100 мм, предлагается использовать фрезерную головку (рис. 7С и 7D). В данном случае, может быть использована кукурузная фасонная фреза из быстрорежущей стали и при такой обработке кроме высокой производительности также возможно получить высокое качество поверхности. В схеме обработки на рис. 7С основной проблемой будет являться написание программы для продольной подачи фрезы  $D_s$ , т.к. движение фрезы при обработке будет повторять возвратно-качательное движение по дуге, при этом с каждым следующим шагом радиус дуги будет увеличиваться на величину  $n$ , определяемую формулой (7). В таком процессе поворот валка на угол  $\alpha$  будет производиться дискретно для обеспечения совершения полного возвратно-качательного движения фрезы по заданной программе. Для данного метода необходимо рассчитывать координаты инструмента, для каждого поворота на угол  $\alpha$ , применяя функцию дуги и функцию изменения дуги. При уменьшении степени дискретности окружной подачи валка на поверхности канавок будет возникать характерный ступенчатый рисунок, шаг которого будет увеличиваться, а при увеличении степени дискретности может привести к пере-

грузке. Данный рисунок выглаживается после первых обкаток на стане и не сказывается на качестве прокатываемых шаров.

В случае, показанном на рис. 7D, программа будет иметь более простой код, т.к. перемещение инструмента по продольной подаче  $D_s$  будет происходить, как и в случае, показанном на рис. 7A, по функции (7), с шагом  $D_s = T_{осн} + \Delta t_\alpha$ , но при этом с возвратно-поступательными движениями, равными величине  $\Delta t_\alpha$ , для обеспечения осевой развалки калибра. Радиальное увеличение глубины вреза будет происходить за счет качения вала по оси  $y$ , что позволит обеспечить использование сферического патрона со смещающейся осью. Равномерность развалки в этом случае будет обеспечена геометрией инструмента, а угол наклона будет зависеть от установочных размеров и изменяться также по функции (7). В этом случае возможно использовать более высокую степень дискретности  $D_\alpha$ , но при этом использование такого метода ограничено возможностью используемого оборудования для обработки крупногабаритных деталей, аналогов которого, в настоящий момент, не существует.

### Выводы

1. Показано преимущество использования станков с ЧПУ для производства валков шаропрокатных станов.
2. Предложена калибровка с переменной глубиной впадины и выведена функция изменения шага от радиуса условного калибра (глубины винтовой впадины вала) (7).
3. Показаны способы изготовления валков с переменной глубиной впадины, которые позволят получить высокую точность геометрических размеров шара и равномерность обжатия по экватору и полюсам.

### Библиографический список

1. Перетятко В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В. Калибровка валков шаропрокатного стана. Сообщение 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 4. С.27-30.
2. Разумов-Раздолов К.Л. Прогрессивные методы конструирования и технология изготовления калибров валков для поперечно-винтовой прокатки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Тула, 2000. 16 с.
3. Патент Германии №42849 от 04.04.1888 г.
4. Специальные прокатные станы / А.И.Целиков, М.В.Барбарич, М.В.Васильчиков и др. М.: Металлургия, 1971. 336 с.
5. Перетятко В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В. Калибровка валков шаропрокатного стана. Сообщение 2 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 6. С.16-20.
6. Перетятко В.Н., Климов А.С., Филиппова М.В. Калибровка валков для прокатки шара // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2012. №30. С.44-50.
7. Experimental and numerical analysis of helical-wedge rolling process for producing steel balls / Z.Pater [and etc.] // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2013. T.67. pp. 1-7.
8. Pater Z. FEM Analysis of the Multi-Wedge Helical Rolling Process for a Workholding Bolt. // MATEC Web of Conferences 80, 2016.
9. Numerical analysis of rolling process for producing steel balls using helical rolls / P.Chila, Z.Pater, J.Tomczak, P.Chila // Arch. Metall. Mater. Vol. 61. 2016. №2. pp. 485-492.
10. Pater Z. Analysis of helical rolling process of balls formed from a head of a scrapper rail // Advances in Science and Technology Research Journal. Vol. 10. 2016. №30. pp. 110-114.

11. Котенок В.И. Пасечник Н.В. Деталепрокатка – современная технология производства заготовок и изделий из стали и цветных металлов // Заготовительное производство в машиностроении. 2004. №3. С.39-45.
12. Котенок В.И., Подобедов С.И. Энергоэкономные калибровки валков шаропрокатных станков // Металлург. 2001. №9. С.45-47.
13. Котенок В.И. Развитие теории формообразования профилей винтовых калибрах и создание высокоэффективных процессов и оборудования для прокатки деталей машин. Дис. д-ра техн. наук. Москва, 2005. 342 с.
14. Рубцов В.Ю., Шевченко О.И. Калибровка шаропрокатных валков с непрерывно меняющимся шагом // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2018. №8°(1424). С.58-63.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

**V.Y.Rubtsov**

EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant

**O.I.Shevchenko**

Federal University named after first President of Russia B.N.Yeltsin

Nizhny Tagil technological Institute (branch)

**PRODUCTION OF BALL-ROLLING ROLLS WITH  
A VARIABLE DEPTH OF CHANNEL**

*Abstract. The currently existing methods of production ball-rolling rolls, taking into account the capabilities of metal-cutting equipment presented. The prospects development of methods for roll-pass design ball-rolling rolls with the possibility of obtaining any form parts of complexity on the projected 3-D models on 4 or 5-axis machining centers have been determined. Developed the model for calculating ball-rolling rolls with variable depth of channel. Ways to production ball-rolling rolls with roll pass designs for obtain a high accuracy degree of the resulting ball, including geometry quality, uniformity of compression between equators and poles are presented.*

*Keywords: ball-rolling roll, variable depth of channel, 5-axis machining centers, longitudinal feed, circular feed.*



В.Г.Дампилон, А.И.Виноградов, Е.В.Агапов, М.А.Голованов  
ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»

## РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Аннотация.* В статье приводятся результаты промышленных испытаний новой технологии с применением волок, имеющих деформирующие выступы. Результаты показали, что данная технология позволяет существенно снизить наклеп проволоки и затрачиваемую на волочение мощность.

*Ключевые слова:* наклеп, волочение, снижение усилия и мощности.

Волочение проволоки является холодным способом деформации металлов и существенно повышает ее прочностные характеристики. Это приводит к необходимости проведения смягчающей термообработки и, как следствие, значительному росту энергозатрат на ее производство.

Обеспечение больших обжатий, снижение усилия волочения и потребляемой волочильным станом мощности является целью создания эффективной технологии.

Процесс волочения характеризуется упрочнением, прежде всего поверхностных слоев металла. Уменьшение наклепа поверхности проволоки, более равномерное распределение упрочнения по поперечному сечению позволило бы снизить суммарное упрочнение, уменьшить частоту использования промежуточной термообработки.

Волока, представленная на рис. 1, улучшает деформационные условия в волоке [1]. Выполненные в виде винтовых линий деформирующие выступы в рабочем конусе волоки обеспечивают самовращение волоки без дополнительного привода. Это способствует интенсивной подаче смазки в зону деформации и более равномерному распределению по ее длине.

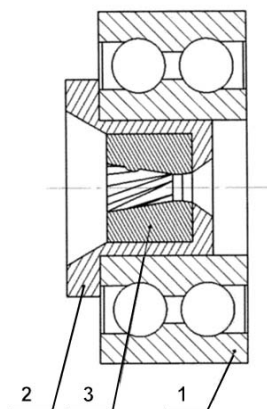


Рис. 1. Вращающаяся волока: 1 – подшипник; 2 – обойма; 3 – волока

Как известно вращающаяся волока лучше захватывает смазку рабочей поверхностью и обеспечивает меньшую овальность готовой проволоки [2].

Дополнительная деформация поверхностных слоев проволоки приводит к снижению неравномерности внутренних напряжений в металле по сечению и снижает уровень остаточных напряжений в проволоке, что приводит к уменьшению наклепа.

Для проверки данных положений был проведен промышленный эксперимент для получения проволоки диаметром 2,97 мм из заготовки диаметром 5,5 мм.

Базовая технология получения проволоки из стали СВ08 с применением стандартных волок с гладким рабочим конусом включала четыре технологических перехода и основные ее параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Основные технологические параметры базовой технологии

Параметр, ед. изм.	Маршрут волочения, мм				
	Ø5,50	Ø4,70	Ø3,97	Ø3,50	Ø2,97
Обжатия, %		27	28,7	24,5	25,9
Предел прочности, МПа	380	504	583	659	750
Скорость волочения, м/с		4,2	4,2	5,6	7,5
Потребляемая мощность, кВт		14,3	19,1	18,2	22,3

Новая технология включала волочение с фильерами, имеющими деформирующие выступы. Причем направление винтовой линии выступов у последовательных волок чередовалось для снижения упрочняющего эффекта. Технологические параметры этой технологии представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Основные технологические параметры новой технологии

Параметр, ед. изм.	Маршрут волочения, мм			
	Ø5,50	Ø4,30	Ø3,50	Ø2,97
Обжатия, %		38,8	33,7	25,9
Предел прочности, МПа	380	410	470	502
Скорость волочения, м/с		4,2	5,6	7,5
Потребляемая мощность, кВт		14,3	16,2	18,5

Как видно из табл. 1 и 2, проволока в готовом размере, полученная по новой технологии, имеет существенно меньший предел прочности, что уменьшает количество промежуточных термообработок при дальнейшем волочении, а применение волок с винтовыми деформирующими выступами позволяет вести волочение с большими суммарными обжатиями.

Кроме того можно отметить существенное снижение потребляемой мощности на волочение. Это вызвано улучшенными условиями трения в деформационной зоне и частичной компенсацией деформационных напряжений при разнонаправленном вращении волок.

Дополнительным эффектом от использования данных волок является снижение овальности готовой проволоки за счет их вращения.

**Библиографический список**

1. Пат. 178202 РФ, В 21 С 3/02. Устройство для волочения длинномерных изделий / Дампильон В.Г., Патентообладатель Дампильон В.Г. №2017141475; заявл. 28.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. №9.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. 2-е изд., М.: Металлургия, 1971. 448 с.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

**V.G.Dampilon, V.I.Vinogradov, E.V.Agapov, M.A.Golovanov**  
Cherepovets State University

**DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE DRAWING TECHNOLOGY  
FOR PRODUCING WIRES WITH IMPROVED MECHANICAL CHARACTERISTICS**

*Abstract. The article presents the results of industrial testing of new technology with the use of die with deforming protrusions. The results showed that this technology can significantly reduce the number of hardening of the wire and the power spent on drawing.*

*Keywords: cold-hardening, drawing, reduction of effort and power.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Агапов Евгений Вадимович** – студент ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет».

**Виноградов Алексей Иванович** – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии, машиностроения и технологического оборудования ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет». Область исследований: волочильное производство. Тел.: +79217325464. E-mail: gradi@mail.ru.

**Голованов Максим Алексеевич** – студент ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет».

**Дампилон Владимир Галсанович** – директор ИП «Дампилон» (г. Санкт-Петербург).

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

**Колыбанов Алексей Николаевич** – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский технический университет им. Г.И.Носова». Область исследования: листопрокатное производство. Тел.: +79097477759. E-mail: hitman47.hitman@yandex.ru.

**Левандовский Сергей Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: управление качеством сортопрокатных технологических систем. E-mail: levandovskiy@mail.ru.

**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.

## ABOUT THE AUTHORS

**Agapov Evgeny Vadimovich** – a student of Cherepovets State University.

**Vinogradov Aleksey Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Mechanical Engineering and Technological Equipment» Department of Cherepovets State University. Research themes: drawing production. Phone: +79217325464. E-mail: gradi@mail.ru.

**Golovanov Maxim Alekseevich** – a student of Cherepovets State University.

**Dampilon Vladimir Galsanovich** – director «Dampilon» (St. Petersburg).

**Kinzin Dmitrii Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Technologies of Material Processing» Department of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Research themes: theory and technology of section rolling production. Phone: +79068722849. E-mail: kinzin@mail.ru.

**Kolybanov Aleksey Nikolaevich** – a student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: plate rolling. Phone: +79097477759. E-mail: hitman47.hitman@yandex.ru.

**Levandovsky Sergey Anatol'evich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Technologies of Material Processing» Department of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Research themes: quality control of section rolling technological systems. E-mail: levandovskiy@mail.ru.

**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.

**Румянцев Михаил Игоревич** – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: совершенствование технологии производства листового проката на основе развития методологии анализа листопрокатных технологических систем. Тел.: +79320139323. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

**Шевченко Олег Игоревич** – докт. техн. наук, заведующий кафедрой металлургических технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» Нижнетагильский технологический институт (филиал).

**Rumyantsev Mikhail Igorevich** – Candidate of Technical Sciences, Professor of «Technologies of Material Processing» Department of Novosov Magnitogorsk State Technical University. Research themes: sheet and plate production. Phone: +79320139323. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

**Shevchenko Oleg Igorevich** – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of metallurgical technologies «Federal University named after first President of Russia B.N.Yeltsin» Nizhny Tagil technological Institute (branch).