

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХINNOVATION IN METALLURGICAL INDUSTRIAL
AND LABORATORY EQUIPMENT, TECHNOLOGIES
AND MATERIALS**Краткое сообщение**

УДК 621.771.25.04.001.5

DOI 10.17073/0368-0797-2022-4-294-297

<https://fermet.misis.ru/jour/article/view/2301>

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЕ ПРОФИЛИ, ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ

А. Р. Фастыковский, В. А. Вахроломеев, А. Г. Никитин**Сибирский государственный индустриальный университет** (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Наметившийся рост промышленного и гражданского строительства в России, внедрение новых технологий вызвали необходимость увеличения производства строительного проката и, особенно, арматуры. Одним из путей увеличения производства арматуры на действующих станах в кратчайший срок без серьезных капитальных вложений является использование технологии прокатки – разделения. Приведены условия осуществимости успешной реализации процесса прокатки – разделения. Получены новые зависимости для определения продольной силы, обеспеченной резервом сил трения при формировании сочлененного профиля, которые учитывают форму профиля и условия формоизменения.

Ключевые слова: прокатка – разделение, условия осуществимости, сочлененный профиль, продольная сила

Для цитирования: Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А., Никитин А.Г. Оценка возможностей калибров, формирующих сочлененные профили, для реализации технологии прокатки – разделения // Известия вузов. Черная металлургия. 2022. Т. 65. № 4. С. 294–297. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-4-294-297>

Short report

CAPABILITIES OF GROOVES FORMING ARTICULATED PROFILES FOR ROLLING – SEPARATION TECHNOLOGY

A. R. Fastyskovskii, V. A. Vakhrolomeev, A. G. Nikitin**Siberian State Industrial University** (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. The emerging growth of industrial and civil construction in Russia and introduction of new technologies have caused the need to increase the production of construction rolled products and, especially, rebar. One of the ways to increase rebar production at existing mills in the shortest possible time without serious capital investments is the use of rolling – separation technology. For successful implementation of this technology, the conditions for the feasibility of this process are given in this report. New dependences were obtained for determining the longitudinal force provided by the reserve of friction forces during formation of an articulated profile taking into account the profile shape and the conditions of shape change.

Keywords: rolling – separation, feasibility conditions, articulated profile, longitudinal force

For citation: Fastyskovskii A.R., Vakhrolomeev V.A., Nikitin A.G. Capabilities of grooves forming articulated profiles for rolling – separation technology. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022, vol. 65, no. 4, pp. 294–297. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-4-294-297>

В последние годы в России наблюдается рост промышленного и гражданского строительства, что обусловлено подъемом экономики. Разрабатываются новые строительные технологии [1 – 5], в основу которых положено использование большого объема железобетонных и металлических конструкций. Такое положение дел требует от металлургической отрасли увеличения выпуска строительных профилей и, особенно, арматуры. Одним из путей увеличения производства стро-

ительных профилей является освоение на действующих сортовых станах технологии прокатки – разделения. В настоящий момент имеется два пути реализации данной технологии: формирование сочлененного профиля и его разделение в валках прокатных клетей; формирование сочлененного профиля с последующим разделением в неприводной делительной арматуре. Проведенные в лабораторных и промышленных условиях исследования [6 – 8] показали преимущества второго

способа реализации технологии прокатки – разделения. Условия осуществимости реализации технологии прокатки – разделения сочлененного профиля в неприводной делительной арматуре имеют вид:

$$Q_c - Q_a > Q_p; \quad (1)$$

$$l_{\max} < \frac{\pi}{k} \sqrt{\frac{EJ_{\min}}{Q_p}}, \quad (2)$$

где Q_c – продольная сила, обеспеченная резервом сил трения в очаге деформации клетки, формирующем сочлененный профиль; Q_p – продольная сила, необходимая для разделения; Q_a – продольная сила, необходимая для работы валковой арматуры; l_{\max} – максимально допустимое расстояние, обеспечивающее продольную устойчивость в промежутке между клетью, формирующей сочлененный профиль, и неприводным делительным устройством; E – модуль упругости первого рода; J_{\min} – минимальный момент инерции сечения сочлененного профиля; k – коэффициент приведения длины.

Зависимость (2) получена решением известной формулы Эйлера для определения устойчивости стержней.

Одной из важных составляющих условия реализации рассматриваемой технологии прокатки – разделения является продольное усилие Q_c , обеспеченное резервом сил трения в очаге деформации прокатной клетки, формирующей сочлененный профиль. Величина Q_c зависит от формы калибров, количества сочлененных профилей, условий деформирования и изменяется в зависимости от этих факторов в широких пределах.

На вновь строящихся сортовых станах количество сочлененных профилей может достигать до пяти, при реконструкции действующих станов обычно используют двоярный, реже строенный сочлененный профиль.

Рассмотрим четыре варианта сочлененных профилей: сочлененные прямоугольные профили, сочлененные ромбы, сочлененные овалы, сочлененные круги. Запишем уравнение равновесия сил в очаге деформации для калибра, формирующего несколько сочлененных прямоугольных профилей, спроецировав все силы на направление прокатки:

$$\begin{aligned} & 2R_k(b_k - b_r) \int_0^\alpha \tau_{cp} \cos \theta d\theta - 2R_k(b_k - b_r) \int_0^\alpha p_{cp} \sin \theta d\theta - \\ & - 4R_k G_k h_r \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \int_0^\alpha p_{cp} \sin \theta d\theta + \frac{4R_k G_k h_r}{\cos \frac{\beta}{2}} \int_0^\alpha \tau_{cp} \cos \theta d\theta - \\ & - 2R_k G_k \Delta b \int_0^\alpha p_{cp} \sin \theta d\theta + \frac{2R_k G_k \Delta b}{\sin \varphi_k} \int_0^\alpha \tau_{cp} \cos \theta d\theta - Q_c = 0, \end{aligned}$$

где b_k – ширина по дну калибра; φ_k – выпуск калибра; R_k – катающий радиус; b_r – ширина гребня; Δb – уширение; p_{cp} – нормальное напряжение; τ_{cp} – касательные напряжения; α – угол захвата; β – угол при вершине гребня; θ – текущий угол; h_r – высота гребня; G_k – коэффициент заполнения калибра; Q_c – сила, уравновешивающая резерв сил трения.

После интегрирования с учетом допущений $\tau_{cp} = \mu_y p_{cp}$, $\sin \alpha = \alpha$, $1 - \cos \alpha \approx \alpha^2/2$, получим:

$$Q_c = 2p_{cp} l_d \left[(b_k - nb_r) \left(\mu_y - \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{nh_r G_k}{\cos \frac{\beta}{2}} \left(2\mu_y - \alpha \sin \frac{\beta}{2} \right) + \frac{\Delta b G_k}{2 \sin \varphi_k} (2\mu_y - \alpha \sin \varphi_k) \right],$$

где n – количество сочлененных полос; μ_y – коэффициент трения на установившейся стадии процесса прокатки; l_d – длина дуги захвата.

Запишем уравнение равновесия сил в очаге деформации для калибра, состоящего из нескольких ромбов, соединенных перемычкой, для случая, когда высота гребня меньше высоты ручья, спроецируем все силы на направление прокатки:

$$\begin{aligned} & -4p_{cp} R_k G_k h_r \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} \int_0^\alpha \sin \theta d\theta - 4p_{cp} R_k G_k \left(\frac{B - 2h_r \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{2 \sin \frac{\omega}{2}} \right) \times \\ & \times \sin \frac{\omega}{2} \int_0^\alpha \sin \theta d\theta + \frac{4p_{cp} \mu_y R_k G_k h_r}{\cos \frac{\omega}{2}} \int_0^\alpha \cos \theta d\theta + \\ & + 4p_{cp} \mu_y R_k G_k \left(\frac{B - 2h_r \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{2 \sin \frac{\omega}{2}} \right) \int_0^\alpha \cos \theta d\theta - Q_c = 0, \end{aligned}$$

где ω – угол при вершине ромба; B – ширина калибра, формирующего сочлененные ромбы.

После интегрирования и преобразований, как это было сделано при выводе предыдущих зависимостей, получим:

$$Q_c = 2p_{cp} l_d n G_k \left\{ \left[\frac{2\mu_y}{\sin \frac{\omega}{2}} - \alpha \right] \left[h_r \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} + \left(\frac{B - 2h_r \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{2} \right) \right] \right\}.$$

Запишем уравнение равновесия сил в очаге деформации для калибра, формирующего несколько сочлененных овалов, спроектировав все силы на направление прокатки:

$$-8p_{cp}R_k r_{ov}(\varphi_2 - \varphi_1)G_k \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_0^{\alpha} \sin \omega_{ov} \sin \theta d\omega_{ov} d\theta +$$

$$+ 8p_{cp}\mu_y R_k r_{ov}(\varphi_2 - \varphi_1)G_k \int_0^{\alpha} \cos \theta d\theta - Q_c = 0,$$

где r_{ov} – радиус овала; ω_{ov} – текущий угол овала; φ_1 и φ_2 – начальный и конечный углы очертания овала.

После интегрирования и преобразований с учетом замен, сделанных при выводе предыдущих зависимостей, получим для сочлененных овалов:

$$Q_c = 4np_{cp}r_{ov}l_d(\varphi_2 - \varphi_1)G_k [2\mu_y - \alpha(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)].$$

Для сочлененных кругов зависимость (2) упрощается до вида:

$$Q_c = 6,28np_{cp}r_{ov}l_dG_k(2\mu_y - \alpha).$$

ВЫВОДЫ

Определены условия осуществимости технологии прокатки – разделения в потоке стана неприводной делительной арматурой. Получены зависимости, позволяющие определить величину максимальной продольной силы, обеспеченной резервом сил трения прокатной клетью, которая формирует сочлененный профиль и используется для продольного разделения неприводной делительной арматурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members // *ACI Materials Journal*. 1993. Vol. 90. No. 1. P. 34–39.
2. You Y.-J., Park Y.-H., Kim H.-Y., Park J.-S. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions // *Composite Structures*. 2007. Vol. 80. No. 1. P. 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.04.065>
3. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Rebar. Hughes Brothers, 1997. 15 p.
4. Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections // *China Civil Engineering Journal*. 2016. Vol. 49. No. 9. P. 103–109.
5. Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. P. 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.165>
6. Фастыковский А.Р., Уманский А.А. Теория и практика ресурсосберегающих технологий производства сортового проката на действующих непрерывных станах // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2015. Vol. 58. No. 5. P. 322–327. <https://doi.org/10.15825/0368-0797-2015-5-322-327>
7. Фастыковский А.Р., Волков К.В., Перетьяко В.Н., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Совершенствование технологии производства арматурных профилей на непрерывных мелко-сортовых станах // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2011. № 10. С. 18–21.
8. Перунов Г.П., Лиманкин В.В., Волков К.В., Баядин С.М., Чиж С.А., Сухоплюев В.А., Шестернин А.П., Смирнов В.К., Ина-тович Ю.В. Освоение технологии прокатки – разделения арматурной стали на мелкосоротно-проволочном стане 320/150 ОАО «Амурметалл» // *Производство проката*. 2006. № 6. С. 16–19.
1. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Materials Journal*. 1993, vol. 90, no. 1, pp. 34–39.
2. You Y.-J., Park Y.-H., Kim H.-Y., Park J.-S. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions. *Composite Structures*. 2007, vol. 80, no. 1, pp. 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.04.065>
3. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Rebar*. Hughes Brothers, 1997, 15 p.
4. Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections. *China Civil Engineering Journal*. 2016, vol. 49, no. 9, pp. 103–109.
5. Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 121, pp. 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.165>
6. Fastykovskii A.R., Umanskii A.A. Theory and practice of resource-saving technologies of mill bar production at the operating continuous rolling mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 322–327. (In Russ.). <https://doi.org/10.15825/0368-0797-2015-5-322-327>
7. Fastykovskii A.R., Volkov K.V., Peretyat'ko V.N., Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya. Technological improvement of reinforcing bar production on a continuous small – section mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 10, pp. 18–21. (In Russ.).
8. Perunov G.P., Limankin V.V., Volkov K.V., Bayadin S.M., Chizh S.A., Sukhoplyuev V.A., Shesternin A.P., Smirnov V.K., Inatovich Yu.V. Mastering the technology of rolling – separation of reinforcing steel at the 320/150 fine-grade wire mill of JSC Amurmetall. *Proizvodstvo prokata*. 2006, no. 6, pp. 16–19. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Андрей Ростиславович Фастыковский, д.т.н. заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0001-9259-9038
E-mail: omd@sibsiu.ru

Владимир Анатольевич Вахроломеев, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: wladimir170581@mail.ru

Andrei R. Fastykovskii, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Head of the Chair “Metal Forming and Metal Science. OJSC “EVRAZ ZSMK”, Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0001-9259-9038
E-mail: omd@sibsiu.ru

Vladimir A. Vakhrolomeev, Postgraduate of the Chair “Metal Forming and Metal Science. OJSC “EVRAZ ZSMK”, Siberian State Industrial University
E-mail: wladimir170581@mail.ru

Александр Григорьевич Никитин, д.т.н., профессор кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-9198-6386

E-mail: nikitin1601@yandex.ru

Aleksandr G. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Mechanics and Machine Engineering, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-9198-6386

E-mail: nikitin1601@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.11.2021

После доработки 17.12.2021

Принята к публикации 10.01.2022

Received 16.11.2021

Revised 17.12.2021

Accepted 10.01.2022
