

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ОБЖИМНОГО СТАНА ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Д.Ю. Звонарев, Д.В. Михалкин**

ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск

Ввиду того, что резервы направления повышения частных обжатий и сокращения количества циклов в основном исчерпаны, приведен пример технического решения по совершенствованию косовалковой прошивки на основе минимизации частных обжатий при увеличении количества циклов частных обжатий – прошивка профилированной трубной заготовки с волнообразным профилем.

Преимуществами данной технологии являются уменьшение уровня деформации в осевой зоне заготовки и уменьшение вероятности появления осевого разрушения.

Наиболее эффективным способом получения профилированной трубной заготовки является нанесение профиля на трехвалковом обжимном стане в линии трубопрокатного агрегата.

Для получения на поверхности заготовки волнообразного профиля необходима специальная калибровка рабочих валков трехвалкового обжимного стана, процесс проектирования которой рассмотрен в данной статье.

Три валка предложенной калибровки образуют калибр, состоящий из входного участка, обеспечивающего надежный захват заготовки, рабочего участка с профилирующими гребнями, обеспечивающими нанесение волнообразного профиля, и выходного участка.

Процесс профилирования может протекать только в случае равенства длины периода профиля шагу подачи заготовки на выходе из обжимного стана. Также необходимо учитывать отношение длины периода профиля к высоте гребня, так как на поверхности гильзы после прошивки при низком значении отношения могут образоваться закаты металла, а при высоком – эффективность профилирования резко снижается.

Гребни на рабочем участке валков смещены в направлении прокатки на величину, кратную количеству валов, то есть для трехвалкового стана смещение составит  $1/3$  от длины периода профиля.

По результатам проектирования калибровки валков было проведено компьютерное моделирование профилирования заготовки на обжимном стане в среде Q-FORM с положительными результатами.

*Ключевые слова:* профилированная заготовка; обжимной стан; калибровка валков; компьютерное моделирование; Q-FORM.

Анализ данных литературы [1] по винтовой прошивке показал, что наиболее результативными являются те решения, посредством которых достигается увеличение осевой составляющей деформации при постоянной или уменьшенной ее доле в поперечном направлении.

В соответствии с этим предложен, разработан и исследован способ прошивки, при котором в косовалковый стан задают и прошивают заготовку с периодическим волнообразным профилем образующей боковой поверхности. При прошивке заготовки с волнообразным профилем образующей (рис. 1) наличие плавно сопряженных гребней и впадин приводит к разрывному контакту металла с

валками вдоль их образующих. Обжатие гребней профиля обеспечивает возможность течения металла в сторону впадин, т. е. в осевом направлении. При этом резко снижается доля деформации в поперечном направлении. Совместное влияние дробности очага деформации и уменьшения внеконтактной деформации приводит к резкому уменьшению эффекта лавинообразного роста частных обжатий (рис. 2) на участке от сечения захвата до сечения носка оправки. Снижение таким путем величин частных обжатий вызывает значительное уменьшение расхода мощности на формоизменение во входном конусе за счет исключения повторного обжатия одних и тех же объемов ме-

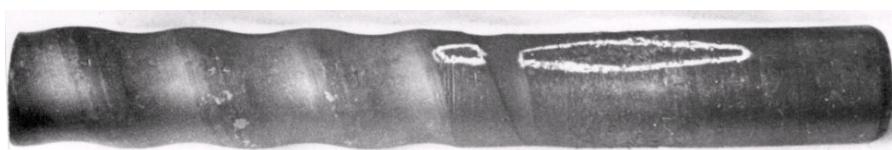
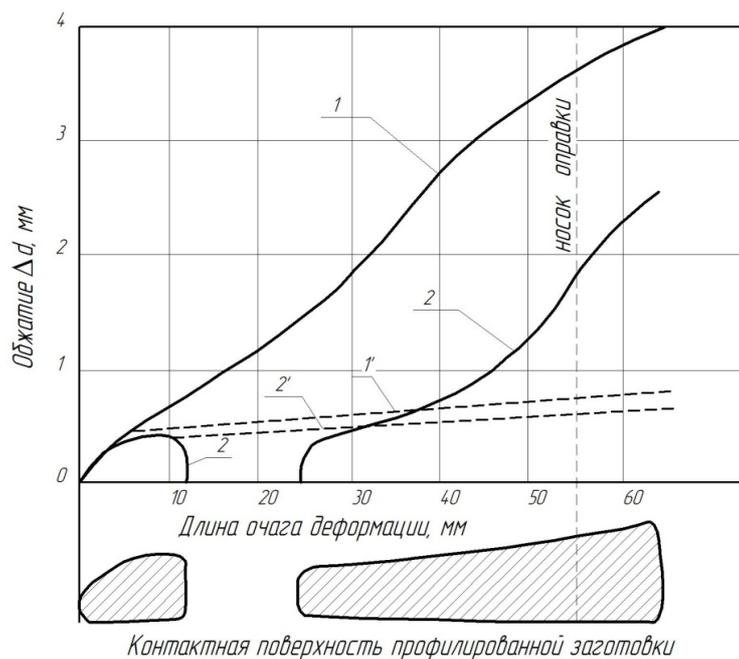


Рис. 1. Заготовка с волнообразным профилем образующей боковой поверхности



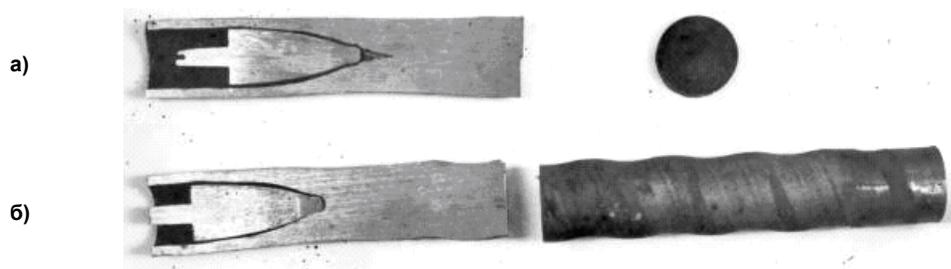
**Рис. 2.** Характер накопления частных обжатий по длине входного конуса очага деформации при прошивке заготовок из стали 35: 1 – для цилиндрической заготовки при естественном течении процесса и 1' – обусловленный только конусностью очага деформации; 2 и 2' – аналогично для профилированной заготовки ( $d_3 = 50$  мм,  $\beta = 7^\circ$ ,  $n_n = 50$  об/мин,  $U_n = 20$  %,  $U_0 = 13,7$  %)

талла, как это происходит при прошивке рядовой заготовки. Уменьшение мощности, вводимой на этом участке очага деформации, означает меньшее поглощение ее кристаллической решеткой металла, уменьшение количества и развития ее дефектов и меньшую вероятность разрушения.

Пробные прокатки на прошиваемость при жесткой настройке стана, обеспечивающей гарантированное осевое разрушение обычной заготовки, показали его отсутствие при прошивке опытных заготовок (рис. 3). Прошивка профилированных заготовок протекала при надежном захвате и стабильно в течение всего процесса.

Наиболее приемлемым способом получения профилированной трубной заготовки является нанесение профиля на трехвалковом обжимном стане в линии ТПА. Этот способ обеспечивает максимальную производительность и наименьший расход металла.

Чтобы обжимной стан помимо обжатия трубной заготовки обеспечивал нанесение бокового винтового профиля, необходимо разработать специальную калибровку прокатных валков. Существенным отличием новой калибровки от штатной является ее асимметричность относительно оси прокатки. Действительно, из рассмотрения рис. 4, на котором показана калибровка валков, следует, что каждый из трех валков имеет отличия в геометрии и размерах деформационных участков (как «гребневых», так и «плоских») и их ориентации относительно оси валка, а поэтому и валки, и касеты, в которых они размещены, а также расположение касет в клетке стана являются регламентированными в зависимости от направления вращения гильзы или собственно валков. С учетом направления вращения гильзы или валков раскатного стана каждый валок должен располагаться строго определенно по периметру клетки: при нумерации



**Рис. 3.** Заторможенные заготовки в очаге прошивного стана: а – с цилиндрическим профилем; б – с волнообразным профилем образующей боковой поверхности

валков, выполненной в соответствии с увеличением геометрических размеров деформирующих гребней, размещать валки по периметру клетки, согласно принятой нумерации, необходимо по направлению вращения гильзы или противоположно направлению вращения валков.

Три валка предложенной конструкции образуют калибр, состоящий из входного двухконусного участка, назначение которого – обеспечить надежный первичный захват гильзы, создать определенный резерв тянущих сил трения для преодоления лобового сопротивления гребней, а также обеспечить необходимое обжатие заготовки; рабочего участка, состоящего из сочетания профилирующих гребней и плоских площадок; третьего – выходного участка.

Рабочий участок образован сдвинутыми в осевом направлении и увеличивающимися по высоте деформирующими гребнями.

При геликоидальном направлении перемещения заготовки первый из гребней деформирует, а последующие подформовывают на наружной поверхности канавку, которая является зеркальным отражением профиля гребня, формирующегося на наружной поверхности заготовки. При условии равенства ширины гребня  $l_{пр}$  шагу осевой подачи заготовки  $S$  на наружной ее поверхности накатывается волнообразный профиль в виде периодически чередующихся гребней с длиной периода, равной  $l_{пр} = S$  и высотой  $b_{пр}$ . Шаг подачи заготовки рассчитывается по выражению

$$l_{пр} = S = \pi d_3 \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{\eta_o}{\eta_T},$$

где  $d_3$  – диаметр заготовки в сечении выхода;  $\beta$  – угол подачи;  $\eta_o$  – коэффициент осевого скольжения;  $\eta_T$  – коэффициент тангенциального скольжения.

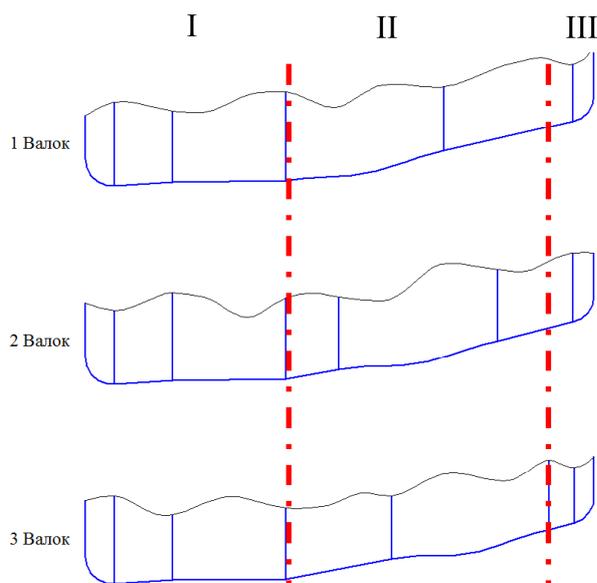


Рис. 4. Новая калибровка валков обжимного стана: I – входной участок; II – рабочий участок; III – выходной участок

Особенности технологии и механизма обжатия трубной заготовки указывают на необходимость решения вопроса выбора оптимальной геометрии волнообразного периодического профиля, который заключается в определении оптимальных соотношений между длиной периода  $l_{пр}$  и высотой профиля  $b_{пр}$ .

Для определения высоты гребня необходимо учитывать, что чрезмерная высота гребня  $b_{пр}$  при заданной величине периода  $l_{пр} = S$  (малое соотношение  $l_{пр}/b_{пр}$ ) может вызвать повышенную «крутизну» профиля. Процесс раскатки таких гребней может сопровождаться образованием «закатов» вследствие интенсивного встречного течения металла в осевом направлении. При излишне малой высоте гребня  $b_{пр}$  (и, соответственно, большем соотношении  $l_{пр}/b_{пр}$ ) периодический волнообразный профиль наружной поверхности гильзы может принять настолько «спокойный» вид, что эффект от его раскатки теряет значимость, и процесс деформирования стенки практически аналогичен раскатке гладкой стенки гильзы.

Размещение гребней на каждом из валков стана выполнено следующим образом: гребень каждого из последующих за первым валков сдвинут относительно предыдущего в направлении прокатки на величину, кратную количеству валков, т. е. для обжимного стана на  $1/3$ . Отсюда вытекает, что в процессе винтовой прокатки за один оборот заготовки гребень валка формирует на ее поверхности канавку волнообразной формы шириной  $l_{пр}$  и сдвигает ее в осевом направлении на величину  $1/3 \cdot l_{пр}$ , т. е. наносит винтовой профиль. За период одного оборота заготовка встречает при своем перемещении, соответственно, второй и третий валки с расположенными на них гребнями. Высота каждого из гребней, последующих за пер-

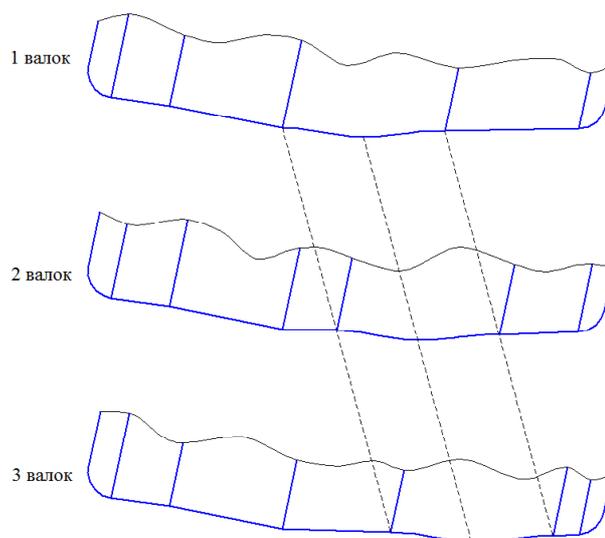


Рис. 5. Смещение гребня на валках обкатного стана

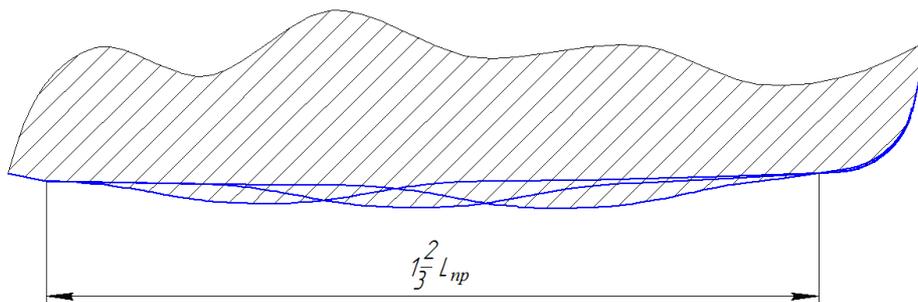


Рис. 6. Наложение образующих валков обжимного стана



Рис. 7. Результаты моделирования обжатия в Q-FORM: а – на штатной калибровке валков; б – на новой калибровке валков

вым валком, увеличивается, а, следовательно, увеличивается и суммарное обжатие, получаемое заготовкой (рис. 5). Таким образом, за один оборот заготовки посредством последовательной деформации тремя гребнями на наружной поверхности формируется винтовой волнообразный профиль.

Углы выходных конусов валков на участке III (см. рис. 4) подобраны с тем расчетом, чтобы при угле подачи  $16^\circ$  образующие валков при наложении пересекались в месте формирования профиля заготовки – в конце рабочего участка (рис. 6).

Для проверки эффективности калибровки было проведено моделирование профилирования заготовки на трехвалковом обжимном стане с помощью метода конечных элементов в среде Q-FORM (рис. 7).

### Выводы

1. Даны рекомендации для разработки калибровки валков обжимного стана, позволяющие получить волнообразный профиль на боковой поверхности заготовки.

2. Моделирование на разработанной калибровке валков обжимного стана показало возможность нанесения периодического винтового профиля на трубной заготовке.

3. Результаты исследования могут быть применены для трубопрокатных агрегатов, в линии которых есть обжимной стан.

### Литература

1. Прошивка в косовалковых станах / А.П. Чекарчев, Я.Д. Ваткин, М.И. Ханин и др. – М.: Металлургия, 1967. – 240 с.

**Звонарев Дмитрий Юрьевич**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией винтовой прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск; zvonaREV@rosniti.ru.

**Михалкин Дмитрий Владимирович**, инженер лаборатории винтовой прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск.

*Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.*

## DESIGN OF THE WORKING TOOL OF THE SCREW ROLLING ROUGHING MILL FOR OBTAINING THE WAVY PROFILE OF THE SIDE SURFACE OF TUBE STOCK ON THE BASIS OF COMPUTER SIMULATION

*D.Yu. Zvonarev, zvonarev@rosniti.ru,  
D.V. Mikhalkin*

*Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI),  
Chelyabinsk, Russian Federation*

Since the reserves of the direction of increasing partial pressing and reducing cycles are substantially exhausted, an example of a technical solution for improving the screw piercing based on minimizing partial pressing with the increase of cycles of partial pressing, i.e. piercing of profiling billets with a wavy profile is given.

The advantages of this technology consist in the reduction of the deformation level in the axial zone of the billet and the decrease of the probability of occurrence of axial destruction.

The most effective way of obtaining profiling billets is application of the profile on a three-roll roughing mill of the pipe-rolling plant.

To obtain a wavy profile on the surface of the billet, a special roll pass design of three-roll roughing mill is required.

Three rolls of the proposed calibration form a caliber, consisting of the input section which provides a secure grip on the billet, the work section with profiling ridges which provides application of the wave profile and the output section.

The profiling process can proceed only in case of the equality of the length of the profile period and the billet's step delivery at the exit of the roughing mill. It is also necessary to consider the ratio of the length profile period to the ridge height, since metal laps can be formed on the surface of the pipe liner after piercing with a low value of the ratio, and at high value of the ratio efficiency of profiling drastically decreases.

The ridges on the work section of the rolls are shifted in the rolling direction by the value which is a multiple to the number of rolls, that is for a three-roll mill the shift is 1/3 of the period length of the profile.

According to the results of the roll pass design, computer simulation of profiling billets on the roughing mill Q-FORM with positive results was conducted.

*Keywords: profiling billet; roughing mill; roll pass design; computer simulation; Q-FORM.*

### References

1. Chekmarev A.P., Vatkin Ya.D., Khanin M.I., Biba V.I., Kirvalidze N.S. *Proshivka v kosovalkovykh stannakh* [Piercing with Rotary Mills]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 240 p.

*Received 11 March 2015*

---

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Звонарев, Д.Ю. Проектирование рабочего инструмента обжимного стана винтовой прокатки для получения волнообразного профиля боковой поверхности трубной заготовки на основе компьютерного моделирования / Д.Ю. Звонарев, Д.В. Михалкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 81–85. DOI: 10.14529/met160212

### REFERENCE TO ARTICLE

Zvonarev D.Yu., Mikhalkin D.V. Design of the Working Tool of the Screw Rolling Roughing Mill for Obtaining the Wavy Profile of the Side Surface of Tube Stock on the Basis of Computer Simulation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 81–85. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160212