



УДК 621.771.014.2

Поступила 09.02.2016

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ОБЖАТИЯ ПОЛОС ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗУЕМОГО ПРОФИЛЯ

## DETERMINATION MODES OF ROLLING BANDS OF VARIABLE THICKNESS FOR ACHIEVEMENT REQUIRED DIMENSIONAL ACCURACY OF FORMING PROFILE

Л. А. ИСАЕВИЧ, Д. М. ИВАНИЦКИЙ, М. И. СИДОРЕНКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: denisrodman@tut.by.

L. A. ISAEVICH, D. M. IVANICKIJ, M. I. SIDORENKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: denisrodman@tut.by.

*Рассмотрены особенности процесса продольной прокатки полос переменной толщины с возрастающим обжатием. Приведены графики изменения мгновенного опережения при прокатке с нарастающим обжатием. Определены режимы обжатия полос переменной толщины, обеспечивающие достижение требуемой размерной точности. Представлены схемы опытных устройств для прокатки полос переменной по длине толщины.*

*The features of the process of longitudinal rolling bands of variable thickness with increasing compression are considered. The graphs of changes of instant advance when rolling with increasing compression are given. Compression modes bands of variable thickness that achieve the desired dimensional accuracy are defined. Schemes of experimental device for rolling bands of variable thickness along the length are presents.*

**Ключевые слова.** Малолистовые рессоры, продольная прокатка, валок, опережение, размерная точность.

**Keywords.** Little-leaf springs, longitudinal rolling, roll, advance, dimensional accuracy.

В последнее время в практике конструирования транспортных средств, в частности для автомобилей средней грузоподъемности, все большее внимание привлекают конструкции с использованием поддрессорника, по сути дела являющегося одной из разновидностей малолистовых рессор. Заготовка поддрессорника представляет собой полосу переменного сечения (рис. 1) и отличается от заготовки малолистовых рессор значительным перепадом толщины.

Центральная часть поддрессорника как и у большинства малолистовых рессор выполнена плоской постоянного размера по толщине. Это подтверждается опытом эксплуатации малолистовых рессор.

Для поддрессорника в качестве материала используется рессорная сталь 50ХГФА. Хромованадиевая сталь 50ХГФА является наилучшей рессорной сталью. Она хорошо прокаливается, имеет высокую усталостную прочность, большой предел упругости и устойчива против перегрева.

Основные требования к прокатанным листам поддрессорника:

- поверхность листов, в том числе и их ребровые стороны, должны быть без расслоений, трещин, раковин, забоин и других дефектов, снижающих долговечность листов;
- допуск на толщину прокатанных листов в любом сечении +0,2 мм;

Из всего многообразия способов получения полос с переменным по длине профилем, применяемых для изготовления малолистовых рессор, самыми рациональными являются те, которые связаны с продольной прокаткой.

Из всех способов получения полос с переменным по длине профилем можно выделить прокатку полосы в приводных валках постоянного радиуса с изменяющимся межвалковым зазором в процессе деформирования металла [1, 2] (рис. 2).

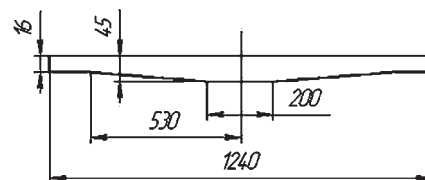


Рис. 1. Заготовка поддрессорника

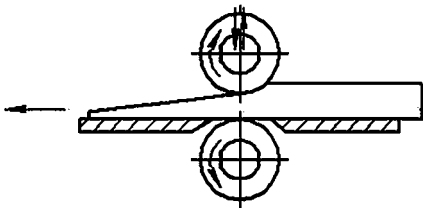


Рис. 2. Схема прокатки в цилиндрических валках с изменением межвалкового зазора

Одним из основных способов получения полос с переменной по длине толщиной, нашедших промышленное применение, является прокатка полосы в приводных валках постоянного радиуса с изменяющимся межвалковым зазором в процессе деформирования.

Условия эксплуатации деформирующих валков чрезвычайно тяжелые. Наряду с действием высоких контактных нагрузок, возникающих при обжатии, значительное влияние на стойкость оказывает температура заготовки, которую перед прокаткой нагревают до 950 °С. Наличие коррозии, окалины и абразивных загрязнений на заготовках способствуют процессу утраты работоспособности валка. Основными причинами выхода из строя инструмента является неравномерный размерный износ, возникновение пригара материала заготовки к поверхности, а также повреждения в виде сколов, раковин, трещин отслоений и др.

При продольной периодической прокатке опережение, сопровождающее процесс, изменяется по мере увеличения или уменьшения обжатия [3]. От величины опережения существенно зависит точность прокатки. Это необходимо учитывать, особенно при прокатке с переменным обжатием.

Для расчетов обычно используют довольно сложные методики, например, методику расчета переменных скоростей [4]. Был предложен другой подход [5]. Допускаем, что в рассматриваемом случае не будет изменяться величина критического угла  $\gamma$ , определяющего положение критического сечения, разделяющего потоки металла на участки опережения и отставания. Для обеспечения требуемых продольных размеров готового профиля необходим учет опережения на различных фиксированных участках полосы. При такой постановке формула для расчета опережения может быть получена из закона сохранения масс (рис. 3).

Уравнение для определения мгновенного опережения металла в сечении выхода из очага деформации при прокатке профилей переменного сечения с нарастанием обжатия [5] имеет вид

$$S = \frac{\left\{ 1 + \frac{R}{h} \beta^2 + 2 \frac{R}{h} \left[ \gamma \beta + \frac{(\gamma - \beta)^2}{2} - \frac{\beta^2}{2} \right] \right\} \left[ 1 - \frac{(\gamma - \beta)^2}{2} \right]}{\left( 1 + \frac{R}{h} \beta^2 \right) \left( 1 - \frac{\beta^2}{2} \right)} - 1. \quad (1)$$

Входящий в выражение (1) критический угол определяем (с учетом знака  $\beta$ ) по уравнению, которое может быть получено как из условия равновесия сил в очаге деформации, так и на основе энергетической теории взаимодействия полосы и валков. Для случая прокатки с нарастающим обжатием оно записывается как [5]

$$\gamma = \sqrt{\frac{h}{R}} \operatorname{tg} \left\{ 0,5 \left[ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{h}{R}} \alpha \right) - \operatorname{arctg} \left( \sqrt{\frac{h}{R}} \beta \right) \right] - \left( \frac{0,25}{f} \right) \sqrt{\frac{h}{R}} \ln \left[ \frac{\left( \frac{h}{R} + \alpha^2 \right)}{\left( \frac{h}{R} + \beta^2 \right)} \right] \right\} + \beta, \quad (2)$$

где  $f$  – средний коэффициент трения;  $\beta$  – угол сечения выхода металла из валков.

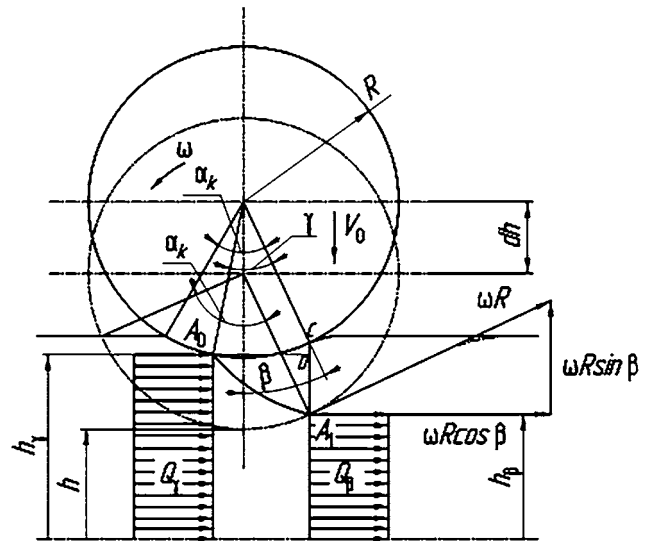


Рис. 3. Схема потоков скорости относительно критического сечения в нестационарном очаге деформации

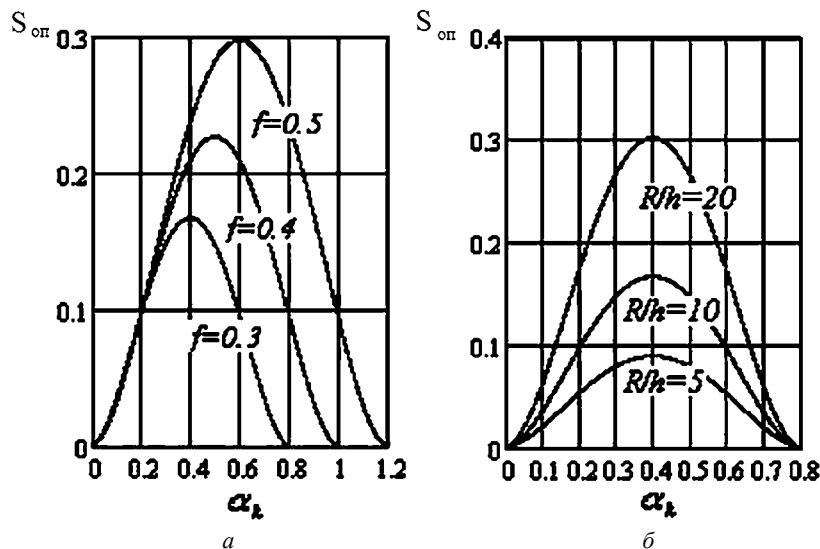


Рис. 4. Изменение мгновенного опережения при прокатке с нарастающим обжатием в зависимости от угла касания  $\alpha_k$  и коэффициента трения  $f$  при  $\beta = 0,1$  рад и  $R/h = 10$  (а); от угла касания  $\alpha_k$  и отношения  $R/h$  при  $\beta = 0,1$  рад и  $f = 0,3$  по формуле (1) (б)

В свою очередь

$$\alpha = \alpha_k - \beta,$$

где  $\alpha_k$  – угол касания валков с металлом.

После упрощения уравнение (2) примет вид

$$\gamma = \frac{\alpha_k}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_k}{2f} + \frac{\beta}{f} \right). \tag{3}$$

Графики по формуле (1) и данным [6] приведены на рис. 4, а результаты расчетов по формуле (1) и данным [6] показаны в таблице. Как видно из таблицы, результаты хорошо согласуются между собой, что указывает на корректность предлагаемого решения.

Изменение мгновенного опережения при прокатке с нарастающим обжатием в зависимости от угла касания  $\alpha_k$  при  $f = 0,5$ ;  $\beta = 0,1$  рад и  $R/h = 10$  по данным [6] и формуле (1)

$\alpha_k$	$S$ [6]	$S$ формула (1)
0	0	0
0,2	0,096391	0,096391
0,4	0,237218	0,236692
0,6	0,29794	0,296887
0,8	0,237218	0,236692
1,0	0,096391	0,096391
1,2	0	0

Теоретические исследования доказывают, что для уменьшения опережения и достижения заданной размерной точности прокатываемого профиля вполне достаточно производить прокатку полосы в последнем проходе с минимальным единичным обжатием (не более 0,5 мм) без дополнительного ее натяжения и рассогласования окружных скоростей валков. Увеличение обжатия, а, следовательно, и угла касания  $\alpha_k$  приводит к проскальзыванию валков по поверхности металла.

На рис. 5 показана схема устройства для реализации предложенного способа. Устройство содержит неприводной опорный валок (профилированной копир) 1, приводные валки 2, боковые ролики 3, механизм 4 регулировки зазора в валках, захват 5, трос 6, груз 7, упор 8, блок 9. Нижний валок имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении за счет клинового механизма 4. Этот механизм включает нижний и верхний клинья. Горизонтальное движение нижнего клина вызывает вертикальное движение верхнего клина и, следовательно, нижнего валка. Груз 7 используется для перемещения заго-

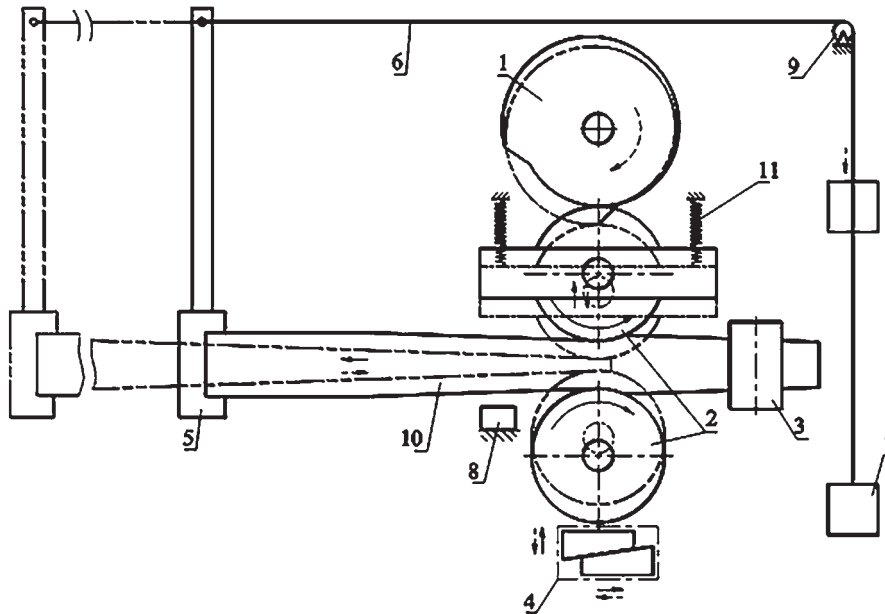


Рис. 5. Схема устройства для прокатки полосы переменной по длине толщины с использованием профилированного копира и боковых роликов

товки 10, а упор 8 – для ограничения ее перемещения. Верхний валок 2 с помощью пружин 11 постоянно контактирует с копиром 1.

Устройство работает следующим образом. Клиновым механизмом 4 устанавливают первоначальный зазор между валками. После этого заготовка 10 вместе с захватом 5 посредством груза 7 через трос 6 перемещается до соприкосновения с валками 2. При сообщении вращения валкам 2 за счет сил контактного трения происходит вращение профилированного копира 1 и зазор между валками начинает изменяться. При максимальном зазоре между ними заготовка 10 вместе с захватом 5 с помощью груза 7 через трос 6 смещается в крайнее правое положение до упора 8. Во время вращения валков 2 зазор между ними уменьшается благодаря профилированному копиру 1 и происходит постепенное обжатие заготовки 10 по длине, которая при этом смещается влево и выходит из валков. В это время зазор между последними с помощью клинового механизма 4 уменьшают на заданную величину. При дальнейшем вращении валков зазор между ними резко увеличивается благодаря конструкции копира и посредством груза 7 заготовка 10 вместе с захватом 5 перемещается в крайнее правое положение до упора 8, раздвигая при этом боковые ролики 3. После этого за счет вращения профилированного копира 1 зазор между валками 2 постепенно уменьшается и происходит повторное обжатие заготовки 10, которая, перемещаясь влево, обжимается по кромкам боковыми роликами 3, а по толщине – валками 2.

Опытный стан для прокатки полос малолистовых рессор показан на рис. 6.

Рассматривая условия прокатки полос переменной толщины с рассогласованием окружных скоростей валков [7], можно заметить, что реализация такого способа требует обязательного независимого привода натяжения прокатываемой заготовки и индивидуальных приводов каждого прокатного валка с плавным регулированием их скоростей вращения.

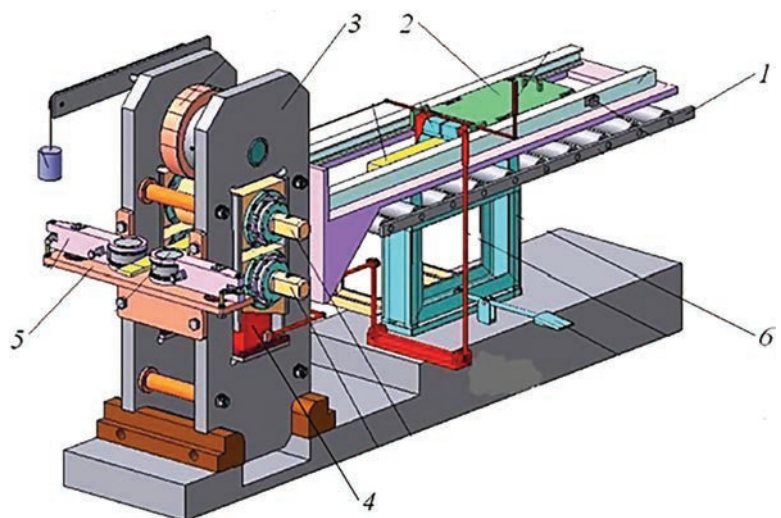


Рис. 6. Схема опытного стана для прокатки малолистовых рессор: 1 – приводной ролик для перемещения заготовки от нагревательной печи к стану; 2 – подвижная каретка для подачи заготовки в валки; 3 – прокатная клетка; 4 – устройство для регулировки зазора между валками; 5 – устройство для обжатия полосы по ширине; 6 – устройство для подъема заготовки с уровня роликанга до уровня подвижной каретки

Это приводит к существенному усложнению конструкции самого прокатного стана и естественно к повышению его стоимости. Кроме того, при наличии рассогласования окружных скоростей валков зона опережения на валке, вращающемся с большей скоростью, становится равной нулю, а на валке, имеющем меньшую скорость, она достигает удвоенного значения зоны опережения, характерной для симметричной прокатки [8]. Следовательно, зона скольжения на этом валке существенно возрастает, что приводит к интенсивному износу его рабочей поверхности, особенно при горячей прокатке.

### Выводы

Теоретически доказано, что для снижения износа инструмента и достижения заданной размерной точности прокатываемого профиля вполне достаточно производить прокатку полосы в последнем проходе с минимальным единичным обжатием не более 0,5 мм.

Разработаны схемы опытного оборудования для реализации процесса прокатки полос с переменным обжатием с одновременным устранением уширения после каждого прохода.

### Литература

1. А. с. 469510 СССР: МКИ В2113/10. Клеть для продольной прокатки профилей переменного сечения / В. Т. Ждан, Н. Ф. Левченко.
2. А. с. 590022 СССР: МКИ В21Н8/00. Клеть для продольной прокатки профилей переменного сечения / В. Ф. Карпенко, Н. Ф. Левченко.
3. А н и к е е н к о И. Н. Параметры калибровки валков и прокатки заготовок турбинных лопаток / И. Н. Аникеенко, А. Г. Сочам // Теоретические проблемы прокатного производства: Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. Днепропетровск: ДМетИ, 1980. С. 300–301.
4. Ч е к м а р е в А. П. Некоторые вопросы продольной периодической прокатки / А. П. Чекмарев, А. Ф. Смольянинов // Тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Днепропетровск: ДМетИ, 1958. Вып. 37. С. 185–203.
5. И с а е в и ч Л. А. Расчет опережения при прокатке с нарастающим обжатием / Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко, М. М. Малекиан // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. В 2-х т. Минск, 2007. Т. 2. С. 42–45.
6. Д а н и л о в В. Д. Оперережение при прокатке профилей переменного сечения // Изв. вузов. Черная металлургия. 1974. № 1. С. 82–86.
7. Способ прокатки труднодеформируемых полос переменного продольного профиля: пат. 2243832 Россия, МКИ В21В1/100 / С. М. Андреев, С. А. Анохин и др. № 2003132042/02; заявл. 03.11.03; опубл. 10.01.05. С. 6.
8. Ц е л и к о в А. И. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. М.: Металлургия, 1980. 319 с.

### References

1. Zh dan V. T., Levchenko N. F. e. a. *Klet' dlja prodol'noj prokatki profilej peremennogo sechenija* [Crate for longitudinal rolling profiles of variable section]. Patent USSR, no. 469510.
2. Karpenko V. F., Levchenko N. F. e. a. *Klet' dlja prodol'noj prokatki profilej peremennogo sechenija* [Crate for longitudinal rolling profiles of variable section]. Patent USSR, no. 590022.
3. Anikeenko I. N., Socham A. G. Parametry kalibrovki valkov i prokatki zagotovok turbinnyh lopatok [Parameters of calibration rolls and rolling pieces of turbine blades]. *Teoreticheskie problemy prokatnogo proizvodstva: Tezisy dokladov 3 Vsesojuznoj konferencii* [Theoretical problems of rolling mills: Abstracts 3-th Union Conference]. Dnepropetrovsk, 1980, pp. 300–301.
4. Chekmarev A. P., Smol'janinov A. F. Nekotorye voprosy prodol'noj periodicheskoj prokatki [Some issues of periodic longitudinal rolling]. *Trudy Dnepropetrovskogo metallurgicheskogo instituta* [Proceedings of the Dnepropetrovsk Metallurgical Institute]. Dnepropetrovsk, 1958, no. 37, pp. 185–203.
5. Isaevich L. A., Sidorenko M. I., Malekian M. M. Raschet operezhenija pri prokatke s narastajushhim obzhatiem [Calculation of the lead in rolling with increasing compression]. *Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Modern methods and technologies of creation and processing of materials. Materials of the II International Scientific and Technical Conference]. Minsk, 2007, no. 2, pp. 42–45.
6. Danilov V. D. Operezhenie pri prokatke profilej peremennogo sechenija [Advance in rolling profiles of variable section]. *Izvestija vuza. Chernaja metallurgija = Proceedings of the institution. Ferrous metallurgy*, 1974, no. 1, pp. 82–86.
7. Andreev S. M., Anohin S. A., e. a. *Sposob prokatki trudno deformiruemym polos peremennogo prodol'nogo profilya* [Method of rolling strips of alternating hard-longitudinal profile]. Patent RF 2003132042/02, 2003.
8. Celikov A. I. *Teorija prodol'noj prokatki* [The theory of longitudinal rolling]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980, 319 p.