

УДК 621.671.63

В. А. Томило

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск

МОДЕРНИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОСОВЫХ ЗАГОТОВОК

Рассмотрены различные схемы прокатки направляющих элементов пневмоподвески: с нарастающим и с убывающим обжатием. Установлено, что с увеличением обжатия до определённых степеней деформации коэффициент переднего натяжения достигает максимально допустимой величины, после чего возможен обрыв переднего конца полосы, а величина давления металла на валки достигает максимальной величины при формировании конечного участка профиля заготовки направляющего элемента, получаемого со степенью деформации 0,56.

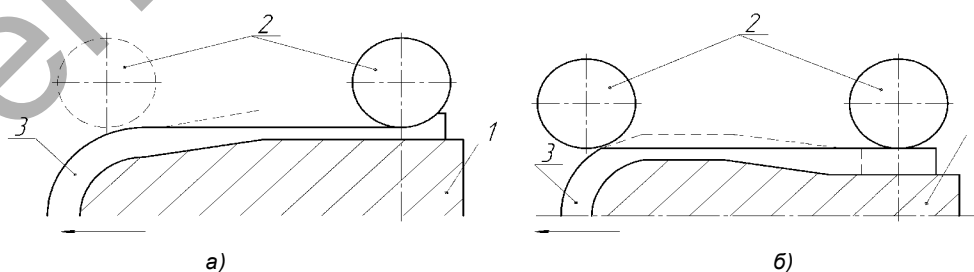
Ключевые слова: периодическая прокатка, направляющие элементы пневмоподвески, степень деформации, коэффициент переднего натяжения, давление металла на валки.

Введение. Проведены исследования процесса продольной прокатки листовых материалов в целях повышения эксплуатационных характеристик готовых изделий, в частности, направляющих элементов пневмоподвески автомобилей. Исследования направлены на обеспечение стабильного значения распорного усилия на элементах прокатной клетки в течение процесса деформирования, относительно невысоких значений усилия, расходуемого на продвижение оправки, что позволит обеспечить заданную точность геометрических размеров периодического профиля (одно из важнейших требований к упругим элементам подвески транспортных средств).

Основная часть. Рассмотрим ранее предложенные и используемые в настоящее время на Минском рессорном заводе классическую схему получения заготовок переменного по длине сечения (рисунок 1, а) и усовершенствованную схему для получения направляющих элементов пневмоподвески (см. рисунок 1, б).

По форме основного деформирующего элемента (рабочей клиновидной оправки) классическую схему (см. рисунок 1, а) можно определить как прокатку с прямым (нарастающим) клином, а усовершенствованную (см. рисунок 1, б) — с обратным (убывающим) клином. При прокатке с прямым клином высота профиля заготовки рессоры убывает в направлении от носка оправки к основанию. При прокатке с обратным клином высота профиля, напротив, возрастает от носка к основанию оправки.

Для упрощения расчётов прокатку участка переменного профиля для обеих схем деформирования можно рассматривать как прокатку заготовки в двух валках (одного приводного — бесконечно большого диаметра, другого не приводного — определённого диаметра) с межосевым расстоянием, изменяющимся по определённому закону, обусловленному профилем оправки. В частном случае (применительно



а — с нарастающим обжатием; б — с убывающим обжатием; 1 — профильная оправка; 2 — прокатные валки; 3 — заготовка

Рисунок 1. — Схемы прокатки направляющих элементов пневмоподвески

величины уширения, которое существенно влияет на перераспределение металла по длине заготовки и, следовательно, на упругие характеристики полученных полос переменной толщины. Вместе с тем уменьшение диаметра валков ограничено снижением их жёсткости, а также условиями захвата металла [4].

В нашем случае это ограничение сводится к условию вращения неприводных валков. При прокатке в неприводных валках очаг деформации в общем случае включает зоны отставания и опережения (рисунок 3). Резерв сил контактного трения, передаваемый от металла к валкам, в зоне опережения играет активную роль и обеспечивает вращение валков. В зоне отставания силы контактного трения реактивны и препятствуют вращению валков.

Поэтому вращение неприводных валков в процессе деформации возможно лишь при условии, когда протяжённость зоны опережения будет больше протяжённости зоны отставания, а именно $\alpha/2 \leq \gamma \leq \alpha$, где α — угол прокатки, γ — нейтральный угол [5]. Предельное ограничение по данному условию $\alpha = \gamma$ показывает, что в этом случае резерв активных сил контактного трения в зоне опережения исчерпан. Это приводит к остановке валков, и процесс прокатки переходит в протяжку, что вызывает локальный износ самих валков.

Известно [6], что при установившемся процессе прокатки в приводных валках предельное значение угла прокатки выражается соотношением $\alpha \leq 2f$, где f — коэффициент контактного трения. При несоблюдении данного условия валки начинают буксовать по металлу. Приведённое соотношение справедливо и для случая прокатки в неприводных валках, но поскольку при этом энергия передаётся от металла к валкам, то несоблюдение указанного условия приводит к остановке валков, что вызывает локальный износ их рабочих поверхностей и, как следствие, потерю точности формообразуемых полос. Данное обстоятельство диктует необходимость дробления суммарной деформации при сохранении цикла обработки за один ход оправки, что возможно при деформировании в клети с несколькими парами валков, установленными последовательно одна за другой.

Уравнения для определения нормальных контактных напряжений в очаге деформации получены совместным решением уравнений равновесия (уравнения прокатки) и пластичности Губера—Мизеса. Для составления уравнения равновесия поверхность калиброванной оправки заменяли цилиндрической поверхностью, близкой к хорде, валка, имеющего существенно больший радиус, чем катающий валок [7]. Тогда для зоны опережения справедливо выражение

$$\sigma_y - \sigma_x = \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(1 - 3 \frac{\tau_{xy}^2}{\sigma_s^2}\right)}$$

для зоны отставания —

$$\sigma_{y\text{от}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \Psi \left[\sqrt{1-f^2} \left(1 + \ln \frac{h_0}{h_x}\right) + 2f \left(\arctg \sqrt{\frac{h_0}{h_k} - 1} - \arctg \sqrt{\frac{h_x}{h_k} - 1} \right) \times \frac{\sqrt{2R_0 \cdot R_p}}{\sqrt{(R_0 + R_p)h_k}} \right] \sigma_s; \tag{1}$$

где Ψ — коэффициент, вычисляемый по формуле $\Psi = \sqrt{1-f^2 \left(\frac{R_0 - R_p}{R_0 + R_p}\right)^2}$,

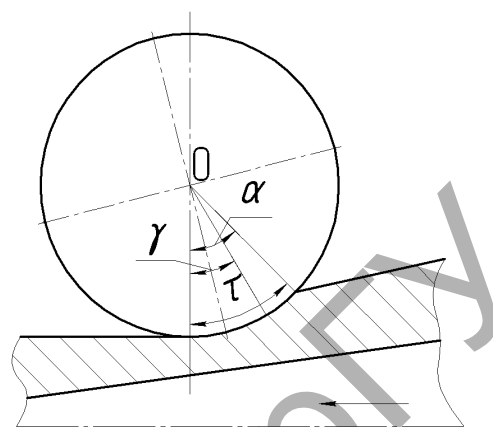


Рисунок 3. — Схема очага деформации при прокатке с переменным обжатием полосы на оправке

- R_0, R_p — радиусы большого и катающего валков соответственно;
 h_0, h_k — толщина полосы на входе и на выходе из валков соответственно;
 ξ — коэффициент переднего натяжения;
 σ_s — напряжение текучести.

При выборе мощности привода подвижной оправки необходимо знание толкающего усилия, приложенного к ней и обеспечивающего возможность деформации полосы в клети прокатного стана. Поскольку толкающее оправку усилие $P_{\text{опр}}$ затрачивается на создание переднего натяжения и активных сил контактного трения на поверхности оправки в пределах очага деформации, то формулу можно записать

$$P_{\text{опр}} = 2B\sigma_s \left[\frac{2}{\sqrt{3}} l_d f + h_k (1 - \xi) \right],$$

где B — ширина полосы;

l_d — длина очага деформации.

Значение коэффициента переднего натяжения определено из условия

$$\sigma_{y \text{ от}} \Big|_{h_x = h_n} - \sigma_{y \text{ оп}} \Big|_{h_x = h_n} = 0,$$

где h_n — толщина полосы в нейтральном сечении, или в развёрнутой форме.

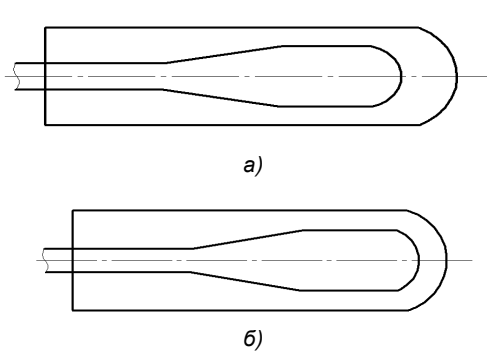
Отсюда с учётом выражения (1) получим

$$\begin{aligned} \xi = & \frac{2}{\sqrt{3}} \psi \left(1 + \ln \frac{h_n}{h_k} \right) + 1 - \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\sqrt{1 - f^2} \left(1 + \ln \frac{h_0}{h_n} \right) + \right. \\ & \left. + 2f \left(\arctg \sqrt{\frac{h_0}{h_k} - 1} - \arctg \sqrt{\frac{h_n}{h_k} - 1} \right) \sqrt{\frac{2R_0 \cdot R_p}{(R_0 + R_p)h_k}} \right]. \end{aligned}$$

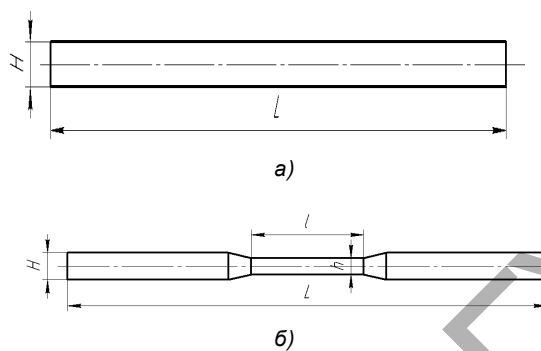
Очевидно, что с ростом обжатия, начиная с определённых значений степени деформации, зависящих от R_p и f , происходит рост коэффициента переднего натяжения. С увеличением обжатия коэффициент переднего натяжения достигает максимально допустимой величины, после чего возможен обрыв переднего конца полосы.

Существующая традиционная технология парной прокатки заготовок направляющих опор пневмоподвески предлагает наличие отхода, достигающего 10...12% веса заготовки [8]. Избежать этого недостатка с наименьшими издержками можно применением предварительной вальцовки. Показана заготовка под прокатку по существующему способу (рисунок 4, а) и способу с предварительной вальцовкой (см. рисунок 4, б), а также заготовка на оправке после прокатки по существующей (рисунок 5, а) и предлагаемой (см. рисунок 5, б) технологии. Длину l прокатного участка необходимо выбирать исходя из геометрии инструмента (носика оправки). Для парной прокатки заготовок направляющих опор длина l должна быть не менее 300 мм. Увеличение длины прокатного участка более 350 мм нецелесообразно, поскольку существенного снижения усилия прокатки и повышения качества изделий при этом не достигается. Конфигурация переходных зон между прокатанным и основными участками особого влияния на последующую прокатку не оказывает, за исключением резких переходов, которые нежелательны.

Для изучения возможности получения изделий типа заготовок направляющих элементов пневмоподвески и изменяющимся по длине профилем была создана лабораторная экспериментальная установка (рисунки 6 и 7).



а — классический способ; б — безотходный способ
Рисунок 4. — Заготовка для прокатки



а — классический способ; б — безотходный способ
Рисунок 5. — Прокатанная заготовка

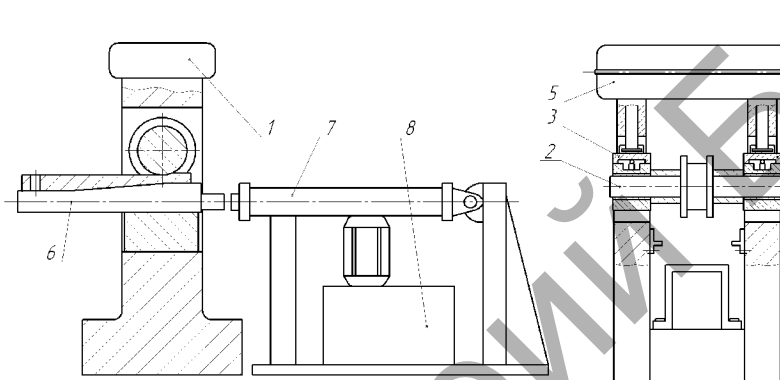


Рисунок 6. — Схема экспериментальной установки для моделирования процесса прокатки заготовок направляющих опор

Экспериментальная установка включает в себя клеть 1, в которой горизонтально размещён прокатный валок, установленный в опорах 3 и 4 с возможностью вертикального перемещения относительно продольной оси прокатки за счёт того, что опоры связаны с нажимными винтами клетки, приводимыми в действие от червячного редуктора 5. Это позволяет менять степень обжатия в каждом сечении прокатываемого изделия в диапазоне, необходимом для проведения экспериментальных исследований. К боковым стойкам клетки прикреплены направляющие, обеспечивающие горизонтальное перемещение профильной оправки 6, приводимой в действие штоком гидроцилиндра 7, связанным с оправкой сферическим шарниром. Привод штока гидроцилиндра осуществляется от гидростанции 8. Рабочая поверхность профильной оправки в продольном сечении имеет переменный по длине профиль, идентичный профилю направляющих элементов пневмоподвески, имеющих клиновидный участок и два участка постоянной толщины. Нижняя поверхность оправки выполнена плоской и в процессе прокатки перемещается по массивной направляющей, жёстко связанной с клетью экспериментальной установки. Общая длина оправки составляет 1 050 мм, длина рабочей части равна 710 мм, высота в наибольшем сечении — 120 мм, ширина — 80 мм. Материал оправки и валков — сталь 40Х. Прокатный валок 2 имеет диаметр бочки 200 мм, диаметр шеек — 140 мм, ширину рабочей части — 80 мм.

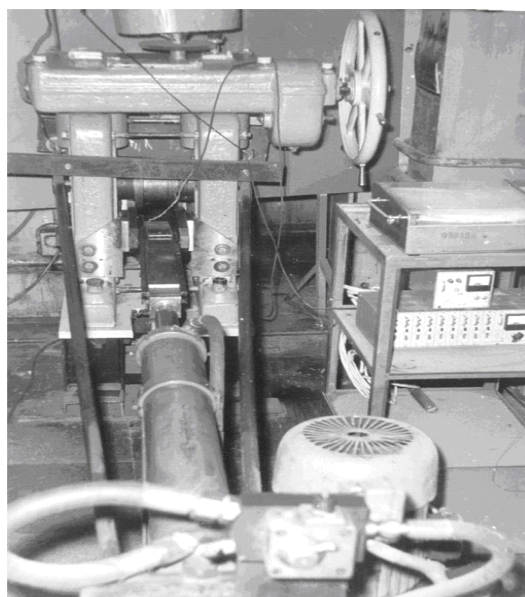


Рисунок 7. — Установка для периодической прокатки полосовых заготовок

Гидроцилиндр 7 выполнен с внутренним диаметром гильзы 120 мм и длиной 900 мм и предназначен для обеспечения возвратно-поступательного перемещения оправки. Гидроцилиндр связан с гидростанцией посредством трёхпозиционного распределителя Р75-В2А, имеющего три режима работы. В первом режиме рабочая жидкость (веретённое масло) поступает в полость под поршнем гидроцилиндра, обеспечивая прямое перемещение штока, во втором — в полость над поршнем, обеспечивая обратный ход, и в третьем — на слив. Регулятор потока жидкости (дроссель) МПГ-55-12 обеспечивает плавную регулировку скорости перемещения штока, а следовательно, и оправки в диапазоне от 1,3 до 2,4 м / мин. Гидростанция 8 состоит из масляного бака ёмкостью 150 литров и шестерённого насоса НШ-46 производительностью 46 л / мин в сборе с асинхронным электродвигателем мощностью 7,5 кВт. Гидростанция позволяет гидроцилиндру осуществлять перемещение штока в указанном диапазоне скоростей с усилием до 100 кН. Контроль давления в линии нагнетания осуществляется манометром.

К основным энергосиловым параметрам процесса, экспериментально исследованным в настоящей работе, относятся давление металла на валки P , тянущее (толкающее) усилие перемещения оправки P_T и интенсивность переднего натяжения заготовки. В силу того, что горячая прокатка рессорных сталей на экспериментальной установке предъявляет значительные требования к мощности привода и жёсткости конструкции, для исследования энергосиловых параметров были использованы свинцовые заготовки, так как свинец обладает некоторыми механическими свойствами (σ_b и δ , сравнимыми по величине с механическими свойствами рессорных сталей при температуре T , составляющей 100...150°C).

При изучении изменения давления металла на валки в процессе периодической прокатки была получена экспериментальная зависимость, свидетельствующая о росте исследуемого параметра с увеличением степени деформации (рисунок 8). Таким образом, величина давления металла на валки достигает максимальной величины при формировании конечного участка профиля заготовки направляющего элемента, получаемого со степенью деформации 0,56.

При реализации предложенного способа прокатки заготовок направляющих элементов пневмоподвески необходимо определить усилие перемещения оправки. Оно должно быть таким, чтобы преодолеть реакцию со стороны валков, которая определяется степенью деформации заготовки, силами трения на контактной поверхности и инерционными силами в момент начала вращения валков. При прокатке заготовок направляющих элементов пневмоподвески на лабораторной установке процесс осуществлялся в условиях, соответствующих прокатке полос в двух валках, один из которых — приводной определённого диаметра, а второй — приводной бесконечно большого диаметра.

Представлен график зависимости толкающего усилия P_T продвижения оправки от её хода для направляющего элемента пневмоподвески автомобилей семейства МАЗ (рисунок 9). Как показали результаты экспериментов, степень деформации, обусловленная ходом оправки, является основным фактором, влияющим на величину P_T , знание которой позволяет рассчитать и выбрать привод оправки.

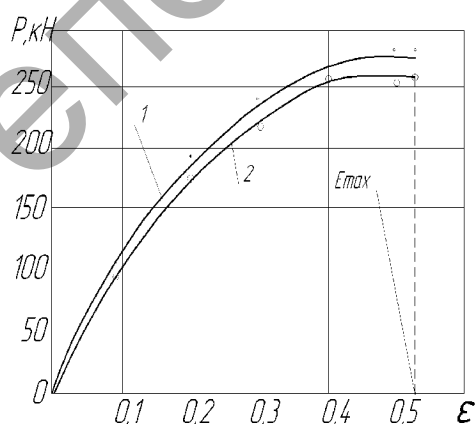


Рисунок 8. — Зависимость давления металла на валки от степени деформации ($0 < \epsilon < 0,56$), материал — свинец

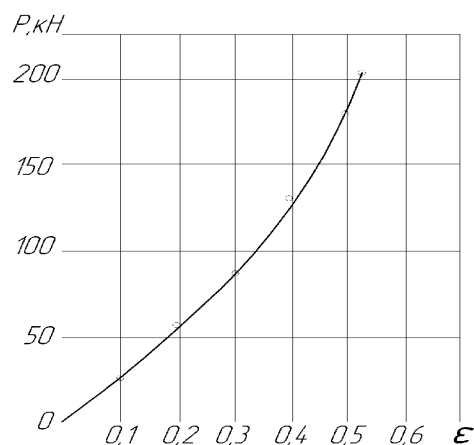


Рисунок 9. — Зависимость усилия продвижения оправки от степени деформации

Интенсивность переднего натяжения определялась в целях изучения технологических возможностей предложенного способа, а именно определения максимально возможной степени деформации при прокатке в неприводных валках. На основании полученных результатов была построена зависимость изменения интенсивности натяжения от хода оправки при прокатке свинцовых заготовок (рисунок 10).

Заключение. На основании экспериментальных данных было установлено, что максимально возможной является степень деформации 0,56. При дальнейшем увеличении степени деформации наблюдалась остановка вала, происходило утонение полосы, образование шейки и разрыв заготовки, что объясняется превращением процесса прокатки в вытяжку с утонением.

Таким образом, при увеличении степени деформации происходит рост интенсивности натяжения, а при степени деформации выше указанной напряжение натяжения превышает предел прочности полосы, и происходит разрыв заготовки.

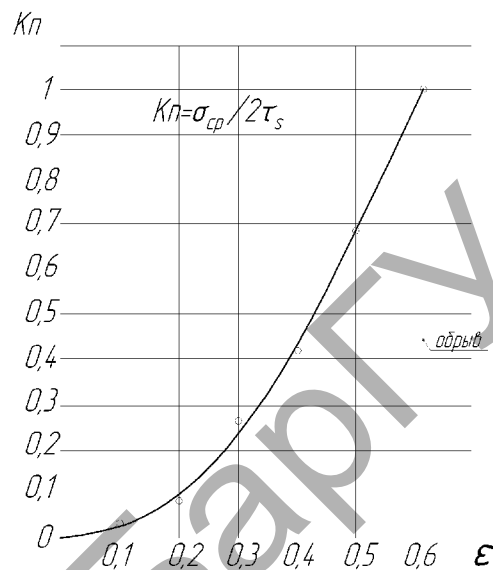


Рисунок 10. — Зависимость коэффициента переднего натяжения от степени деформации

Список цитируемых источников

1. Клубович В. В., Томило В. А. Технологии изготовления и обработки специальных периодических профилей. Минск : БНТУ, 2007. 298 с.
2. Томило В. А. Разработка, научное обоснование и реализация новых способов изготовления заготовок сложной конфигурации большегрузных автомобилей горячим пластическим деформированием : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1994. 16 с.
3. Периодические профили продольной прокатки / Н. М. Воронцов [и др.]. М. Металлургия, 1978. 232 с. ; Пименов А. Ф., Скороход В. Н., Трайно А. И. Асимметричные процессы прокатки — анализ, способы и перспективы применения // Сталь. 1982. № 3. С. 53—55.
4. Периодические профили продольной прокатки. 232 с. ; Потапкин В. Ф., Федоринов В. А., Сатонин А. В. Математическое моделирование напряжённого состояния металла между неподвижным и приводным валками // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1987. № 9. С. 41—45.
5. Синицын В. Г. Несимметричная прокатка листов и лент. М. Металлургия, 1984. 165 с.
6. Там же.
7. Изготовление полос переменной толщины для малолистовых рессор / А. В. Степаненко [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. № 6. С. 15—17. ; Чус А. В., Маменко П. П., Гладкий И. Н. Влияние параметров очага деформации на давление при прокатке // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1987. № 2. С. 109—110. ; Николаев В. А., Волков И. А. Влияние несимметрии деформации при распределении крутящих моментов прокатки полос // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1992. № 9. С. 18—20.
8. Изготовление полос переменной толщины для малолистовых рессор // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. № 6. С. 15—17.

Various schemes of rolling guide elements of air suspension with increasing and decreasing compression have been studied. It has been found out that with the compression on increase to a certain degree of deformation of the front tension index reaches the maximum permissible value, then the possible breakage of the front end of the band and the pressure of the metal to the rolls reaches a maximum value when forming the profile blank end portion of the guiding element resulted with a deformation degree of 0,56.

Key words: periodical rolling, pneumatic guiding elements, the degree of deformation of the front tension index, the pressure of the metal on the rolls.