

УДК 621.771.63

Ахлестин А. В.

ОСОБЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАЛКОВ ПРОФИЛЕГИБОЧНЫХ СТАНОВ С РАЗДЕЛЬНЫМ ВРАЩЕНИЕМ ФОРМУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время стремительно развивается производство тонкостенных гнутых профилей с современными декоративно-защитными покрытиями, расширяется их сортамент, в том числе за счет крупногабаритных изделий. В этих условиях обеспечение требуемого качества продукции имеет первостепенное значение. Прежде всего, это касается состояния поверхности профилей особенно лицевой, где наличие следов скольжения (риски, царапины, задиры) валков относительно формуемого металла, вызываемого разностью их скоростей, недопустимо.

Поэтому существенное уменьшение указанной разности, то есть скорости скольжения при формовке является актуальной задачей, направленной не только на обеспечение высокого качества металлопродукции, но и на повышение энергоэффективности процесса ее изготовления.

При формовке относительно высоких профилей, когда широко применяемые для уменьшения скольжения технические решения (углы и участки освобождения калибров, неприводные валки и ролики) не обеспечивают требуемый результат, целесообразно использовать валки с раздельным вращением формующих элементов [1]. Они обладают более широкими технологическими возможностями. Главная из них – вращение в процессе формовки элементов, имеющих разные диаметры, с разными угловыми скоростями. При этом их окружные скорости практически равны скорости перемещения профиля в стане. Это достигается путем установки отдельных формующих элементов на подшипниках, а их вращение обеспечивается действием сил трения на участках контакта с движущимся профилем [1, 2].

Однако, несмотря на отмеченные преимущества такого валкового инструмента в промышленном производстве профилей он по разным причинам применяется крайне редко.

Целью работы является: анализ известных разработок и выявление причин, сдерживающих промышленное применение валков с раздельным вращением формующих элементов; определение критерия работоспособности элемента на подшипнике в процессе формовки; разработка новых эффективных конструктивных схем валкового инструмента.

Во всех литературных источниках за исключением [1, 3], рассмотренных в данной статье, применительно к установленным на подшипниках элементам валков используется термин «свободно вращающиеся элементы» (СВЭ). И хотя этот термин некорректный (вращение осуществляется под действием силы, причем, достаточной для этого), при анализе указанных источников он сохраняется.

Известные конструкции валков с применением СВЭ отличаются способом их установки на валу валка: на подшипниках качения [1], скольжения [2, 3, 5–8], вообще без подшипников как таковых, если сами формующие элементы выполнены из антифрикционного материала [9]. Возможна также установка СВЭ на переходных втулках или хвостовиках других формующих элементов [4, 7].

Наиболее «удобными» для формовки такими валками являются корытные и гофрированные трапецевидные профили. Это объясняется возможностью применения дисковых формующих элементов с цилиндрической рабочей поверхностью. При этом один или несколько элементов валка одного диаметра жестко закреплены на его валу, а другие элементы, отличающиеся величиной диаметров, установлены на подшипниках.

Немаловажным фактором, влияющим на эффективность применения валков, является расположение на них СВЭ относительно других элементов. В настоящее время применяют три возможные схемы (рис. 1).

1) В конструкции валков с раздельным вращением элементов [1] средние формирующие элементы основных (катающих) диаметров $D_{ов}$ и $D_{он}$ обоих валков обеспечивают перемещение профиля в стане, а боковые СВЭ на подшипниках качения получают вращение от движущегося профиля, осуществляя одновременно его формовку (рис. 1, а). Для уменьшения трения между торцевыми поверхностями элементов, вращающихся с разными угловыми скоростями, установлены упорные подшипники качения. Очевидно, что такие валки должны обладать наилучшими функциональными характеристиками. Их недостатками являются увеличенные диаметры (за счет подшипников качения) и сложность конструкции (из 6 формирующих элементов пары валков 4 установлены на подшипниках).

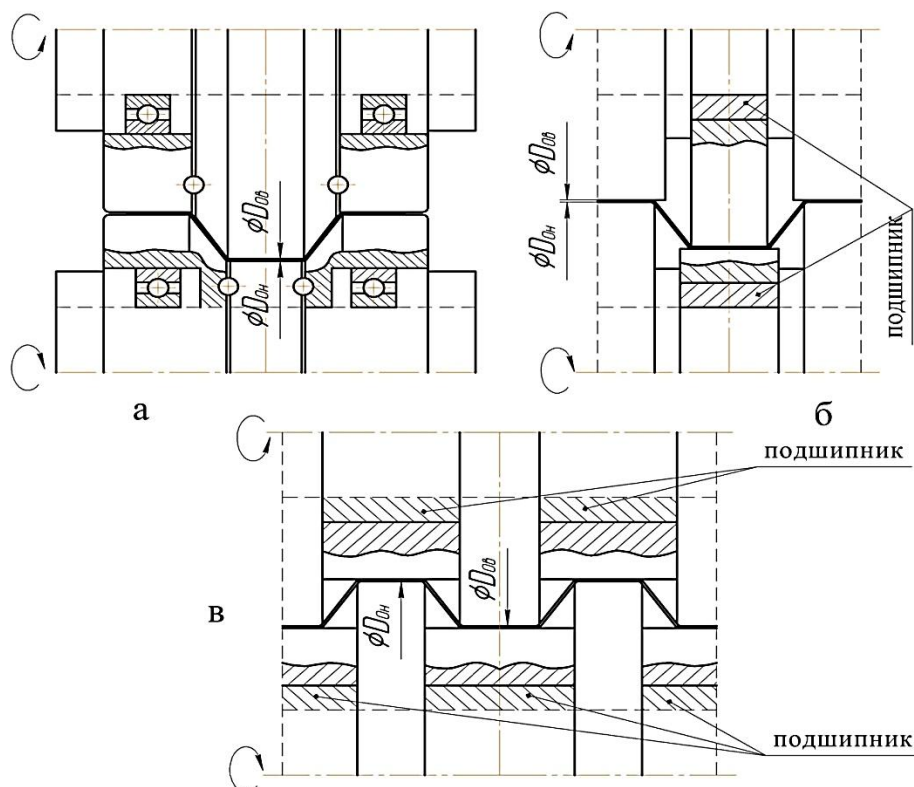


Рис. 1. Схемы расположения СВЭ на валках:

а – по бокам от центра; б – по центру; в – в шахматном порядке

Следует отметить, что подобная схема расположения формирующих элементов на валках присуща другим разработкам [2, 4, 5, 8] с той лишь разницей, что в них (за исключением [2] – валков трубоформовочных станков) используются подшипники скольжения.

2) Устройством для изготовления гофрированных профилей [3] предусмотрена формовка гофров СВЭ на подшипниках скольжения, расположенных друг над другом (рис. 1, б). Перемещение же профиля обеспечивается элементами основных диаметров $D_{ов} = D_{он}$ валков. При взаимодействии верхнего СВЭ с формируемым металлом, вследствие смещения равнодействующей удельных усилий на поверхности контакта в сторону осевой плоскости валков, уменьшается изгибающий момент, а, следовательно, и продольный изгиб профиля. Основные недостатки таких валков – возможная неработоспособность элементов на подшипниках, в первую очередь имеющих меньший диаметр, а также увеличенные размеры из-за равенства основных диаметров и необходимости обеспечения гарантированного вращения таких элементов.

3) В запатентованных конструкциях профилегибочных станков для изготовления гофрированных профилей [6, 7] СВЭ на подшипниках скольжения установлены в валках в шахматном порядке таким образом, что элементу на подшипнике, расположенному на одном валке, противостоит тянущий элемент другого валка, обеспечивающий перемещение профиля, и наоборот (рис. 1, в). Как правило, диаметр СВЭ меньше диаметра тянущего элемента.

Подобно предыдущей схеме СВЭ могут и не вращаться на подшипниках. В [7] отмечается, что оптимальные технологические условия формовки обеспечиваются в случае, когда разность диаметров тянущего элемента и СВЭ составляет величину $\Delta V \geq 0,44$ диаметра вала вала. При этом не уточняется, какие именно условия имеются в виду, и как они связаны с указанной величиной. Тем более, что для аналогичных валков [6] она существенно меньше ($\Delta V \geq 0, 2$).

Экспериментальными исследованиями [5] установлено, что наличие в валках СВЭ позволяет при формовке корытного профиля уменьшить крутящий момент на верхних валках на 8,2 %, а на нижних – на 12,5 %. В работе [8] при изготовлении аналогичного по форме профиля подобный эффект не зафиксирован: измеренные крутящие моменты оказались близкими к тем, что зарегистрированы при формовке обычными валками. Это свидетельствует о том, что в данном случае СВЭ в процессе формовки просто не выполняли свою функцию, то есть не проворачивались относительно вала вала, а вращались вместе с ним. На практике такое случается, и визуально обнаружить неработоспособный элемент довольно трудно.

Таким образом, краткий анализ рассмотренных источников показывает, что: процесс формовки с применением СВЭ изучен слабо; не выявлены причины их возможной неработоспособности (впрочем, этот вопрос никогда и не ставился); устанавливаются СВЭ только на приводных валках; эффективность применения таких элементов оценивается по величине крутящего момента; в большинстве случаев СВЭ имеют меньший диаметр, чем тянущие элементы.

Причинами же сдерживающими промышленное применение валков с раздельным вращением формирующих элементов являются: сложность конструкции и соответственно высокая стоимость; увеличенные размеры и масса, порою несовместимые с параметрами имеющегося оборудования; возможная неработоспособность элементов на подшипниках; отсутствие действующих опытно-промышленных образцов оборудования с такими валками.

При устранении этих причин особое внимание должно быть уделено вопросу, связанному с возможной неработоспособностью указанных элементов.

Рассмотрим работу цилиндрического формирующего элемента на подшипнике скольжения, расположенного на валу верхнего вала (рис. 2). При холостом вращении валков элемент имеет одинаковую угловую скорость с валком, на котором он установлен, и соответствующую его диаметру окружную скорость. В процессе формовки профиль (показан условно) перемещается с определенной скоростью, заданной ему нижним валком. В свою очередь профиль, взаимодействуя с элементом, вынуждает его вращаться с окружной скоростью равной своей скорости перемещения. Это достигается путем проворачивания элемента на вращающемся вместе с валом подшипнике. Причем, если скорость профиля больше скорости элемента, то проворачивание осуществляется в направлении движения профиля и наоборот.

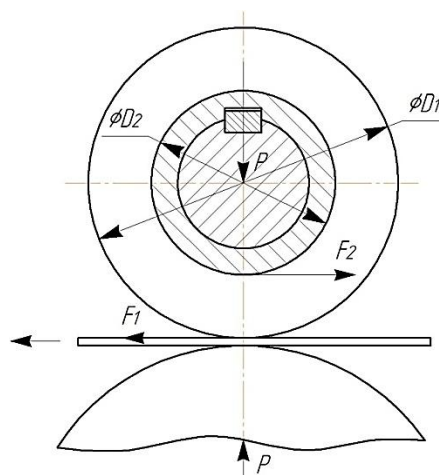


Рис. 2. Схема действия сил в валках

В описанном взаимодействии реализуется передача трением. Главное ее условие состоит в том, что момент силы трения на поверхности контакта элемента с профилем должен быть больше момента силы трения, возникающего в подшипнике, на котором установлен этот элемент. В противном случае элемент на подшипнике не будет работоспособным, а затраты на изготовление валков с такими элементами – напрасными.

Согласно изложенному $M_1 \geq M_2$. Так как $M_1 = P \cdot f_1 \cdot D_1/2$, $M_2 = P \cdot f_2 \cdot D_2/2$, то:

$$D_1 \geq D_2 \cdot f_2 / f_1, \quad (1)$$

где M_1 и M_2 – моменты сил трения на контакте элемента с полосой и подшипником;

D_1 и D_2 – диаметры элемента и подшипника;

f_1 и f_2 – коэффициенты трения при формовке на контакте: элемент – профиль, элемент – подшипник.

Как следует из (1), величина диаметра элемента зависит от диаметра подшипника (определяется диаметром вала, на котором он установлен, и является для конкретного оборудования постоянной величиной) и, главным образом, от соотношения коэффициентов трения скольжения и трения качения. Хотя «чистого» качения и скольжения при формовке в валках не существует.

Указанные коэффициенты трения являются условными (приведенными), и определить их величину можно лишь экспериментально [10]. Неточности в определении коэффициентов трения компенсируются коэффициентом k запаса сцепления элемента с формируемым профилем. Окончательно формула (1) принимает вид:

$$D_1 \geq k \cdot D_2 \cdot f_2 / f_1. \quad (2)$$

В сущности (2) является критерием работоспособности элемента на подшипнике.

Оценочные расчеты показывают, что при сухом трении (попадание смазки на декоративное покрытие не допустимо) меньший из элементов одного валка вращается на подшипнике скольжения только при условии, что его диаметр превышает почти в два раза диаметр этого же элемента при его жестком закреплении на валу валка (без подшипника). В соответствии с величиной передаточного отношения увеличиваются диаметры элементов и другого валка. При таком увеличении диаметра даже меньший элемент можно с запасом посадить на подшипник качения.

Известны [2, 11] основные свойства неприводных валков, содержащих один или более формирующих элементов одного диаметра: первое – вращение без скольжения под действием движущегося профиля; второе – возможность изменять свой диаметр, в том числе в сторону уменьшения. По первому из них такие валки функционально идентичны элементам валков, установленным на подшипниках, а конструктивно они отличаются: формирующие элементы неприводных валков вращаются вместе с осью, на которой они жестко закреплены, в подшипниковых опорах валков. Если элементы валков имеют разные диаметры, то первое их свойство частично теряется. Как правило, под действием профиля вращаются без проскальзывания только большие элементы.

Для создания наилучших условий контактного взаимодействия валков с лицевой стороной формируемого профиля по всей его ширине возникла идея упомянутые большие элементы установить на оси валка на подшипниках качения. При этом конструктивная схема валкового инструмента (рис. 1, б), выбранная в качестве аналога, изменится следующим образом. Для изготовления профиля с односторонним декоративным покрытием: верхний валок – неприводной, вместо подшипника скольжения – подшипник качения, все элементы нижнего валка – тянущие. В связи с отсутствием кинематической связи между валками диаметр верхнего валка можно уменьшить. Для формовки профиля с двухсторонним покрытием оба валка выполняются неприводными с элементами на подшипниках, а тянущее усилие создается последующими парами валков [12].

Новые конструктивные схемы могут стать основой для создания более эффективного валкового инструмента, отличающегося упрощенной конструкцией, меньшими размерами и массой валков, обеспечением изготовления профилей высокого качества.

ВЫВОДЫ

Валки профилегибочных станов с раздельным вращением формирующих элементов могут найти применение в промышленном производстве тонкостенных профилей с декоративно-защитным покрытием. Для этого необходимо создание такого валкового инструмента, использование которого позволило бы обеспечить наиболее благоприятные условия контактного взаимодействия его с формируемым профилем, особенно с лицевой его стороной. Основой для разработки нового инструмента могут служить конструктивные схемы, в которых реализована идея получения суммарного технического эффекта и от использования непригодных валков, и от установленных на них формирующих элементов, на подшипниках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекмарев А. П. *Гнутые профили проката* / А. П. Чекмарев, В. Б. Калужский. – М. : Металлургия, 1974. – 264 с.
2. Тришевский И. С. *Теоретические основы процесса профилирования* / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов. – М. : Металлургия, 1980. – 287 с.
3. Пат. 97411 Польшая Народная Республика. МПК В21D13/04. *Устройство для гибки широкого листового материала* / Miroslaw Stachula, Leszek Wyka (ПНР). – № 192694 ; заявл. 07.03.74 ; опубл. 30.09.74.
4. Горбач Е. Н. *Совершенствование технологии производства замкнутых профилей* / Е. Н. Горбач, С. И. Самарин, О. В. Марьин // *Освоение производства и повышение качества гнутых профилей проката : отрасл. сб. науч. тр.* – Х. : УкрНИИМет, 1985. – С. 69–75.
5. *Организация производства гнутых профилей для объектов энергетики* / [А. Б. Юрченко, К. С. Брыков, В. С. Марьин, С. А. Каширский] // *Гнутые профили проката : отрасл. сб. науч. тр.* – Х. : УкрНИИМет, 1987. – С. 75–84.
6. Пат. 2105624 Российская Федерация. МПК В21D5/06, В21D13/04. *Способ изготовления гнутых профилей преимущественно с покрытиями и профилегибочный стан для его осуществления* / В. Е. Козлов, Ю. Д. Макаров, Г. В. Олейник и др. – № 93008163/02 ; заявл. 03.03.93 ; опубл. 27.02.98, Бюл. № 6.
7. Пат. 2105625 Российская Федерация. МПК В21D5/06, В21D 13/04. *Способ изготовления гнутых профилей с трапецевидными гофрами и профилегибочный стан для его осуществления* / В. Е. Козлов, В. И. Филатов, Ю. Д. Макаров и др. – № 93008164/02 ; заявл. 03.03.93 ; опубл. 27.02.98, Бюл. № 6.
8. *Разработка технологии и оборудования и организация производства профилей для сельскохозяйственного машиностроения* / [К. С. Брыков, А. Б. Юрченко, А. Н. Карасевич, Н. Л. Волковой] // *Теория и технология производства гнутых профилей проката : отрасл. сб. науч. тр.* – Х. : УкрНИИМет, 1988. – С. 82–89.
9. Юрченко А. Б. *Энергосиловые параметры профилирования в валках с одинаковыми основными диаметрами и со свободно вращающимися элементами* / А. Б. Юрченко, Р. Ю. Дебердеев // *Теория и технология производства гнутых профилей проката : отрасл. сб. науч. тр.* – Х. : УкрНИИМет, 1988. – С. 31–36.
10. *Трибомеханика. Триботехника. Триботехнология. В 3 Т. Т. 1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении* / М. В. Чернец, Л. П. Клименко, М. И. Пащенко, А. Невчас [под общ. ред. М. В. Чернеца, Л. П. Клименко]. – Николаев : Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.
11. Ахлестин А. В. *Об эффективности применения неприводного инструмента в процессах валковой формовки* / А. В. Ахлестин // *Вестник Национального технического университета «ХПИ» : сб. науч. тр. : темат. вып. : Новые решения в современных технологиях.* – Х. : НТУ «ХПИ», 2009. – № 33. – С. 22–26.
12. Ахлестин А. В. *О влиянии сил трения на процесс валковой формовки профилей* / А. В. Ахлестин // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні.* – Х. : ХНТУСГ, 2007. – Вип. 61. – С. 67–72.

Ахлестин А. В. – нач. отдела ООО «МЕКАП», г. Харьков.

E-mail: av2112@mail.ru