

УДК 621.771

Шеногин В. П.
Тепин Н. В.
Нелюбин С. А.
Загуменов А. П.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Повышение точности размеров прокатных изделий неразрывно связано как с технологией прокатки, так и с жёсткостью прокатных клетей. Как малая, так и завышенная жёсткость клетей приводит к невозможности прокатки профилей в узком диапазоне поля допуска.

Для обеспечения требуемой точности мелкосортной прокатки необходимо определить основные технические характеристики прокатных клетей, а также выработать соответствующие рекомендации по проектированию новых прокатных клетей [1].

Для организации системного подхода при выборе и проектировании прокатных клетей сортовых станов в данной работе предлагается воспользоваться методом морфологического анализа.

Для его проведения необходимо точно сформулировать проблему: – предложить новую эффективную конструкцию чистовой прокатной клетки мелкосортного стана. Определить морфологические признаки: А – станина, Б – узел регулирования межвалкового зазора, В – подшипниковый узел, воспринимающий радиальную нагрузку, Г – узел осевой регулировки валка, Д – подшипниковый узел, воспринимающий осевую нагрузку, Е – узел предварительного нагружения деталей, воспринимающих радиальную нагрузку, Ж – предварительное осевое нагружение клетки.

При формировании матрицы (морфологического ящика) определим возможные исполнения каждого признака. Возможные сочетания А₁Б₃Г₁Д₅Е₃Ж₄ или А₅Б₁Г₃Д₅Е₄Ж₁ и т. д. Общее количество сочетаний в морфологическом ящике равно произведению чисел элементов на осях. В нашем случае матрица (табл. 1) позволяет получить $6 \times 6 \times 6 \times 6 \times 6 \times 6 \times 5 = 233280$ вариантов.

Анализ конструкций прокатных клетей, введенных в эксплуатацию в мире за последние двадцать лет, показывает, что на среднесортных, мелкосортных, и проволочных станах в качестве клетей чистовой группы (диаметр валков 270–750 мм) наиболее часто применяются бесстанинные клетки.

Бесстанинные прокатные клетки имеют ряд преимуществ по сравнению с клетями традиционной конструкции:

- рабочие клетки могут использоваться для установки как в горизонтальном, так и в вертикальном положении;
- конструкция клетей более легкая (масса клетки меньше в среднем на 15–30 %);
- более благоприятное распределение нагрузок на подшипниковый узел позволяет увеличить срок его службы;
- повышенная жесткость клетки в радиальном направлении за счет малого контура жесткости.

В конструкции бесстанинных прокатных клетей наметились две тенденции:

- предварительно-напряженные бесстанинные;
- бесстанинные четырехвинтовые.

Использование того или иного типа клетей обусловлено рядом причин: величиной усилий прокатки в каждой клетке, скоростным, температурным режимами, производительностью стана. Каждая из рассматриваемых конструкций клетей обладает своими достоинствами и недостатками [2].

Так, предварительно-напряженная клетка при достаточно высокой радиальной жесткости, компактности и малом удельном весе собственно клетки, имеет существенные недостатки. Для точной регулировки раствора валков в конструкции клетки применяются эксцентриковые втулки, которые:

- значительно уменьшают наружный диаметр радиальных подшипников качения и, тем самым, не позволяют использовать подшипники с высокой долговечностью;
- затрудняют подачу жидкой смазки как в подшипники качения, так и в подшипники жидкостного трения;
- создают дополнительный зазор с подушками, что негативно влияет на качество проката и долговечность деталей клетки.

Кроме того, в ПНК процесс перевалки валков достаточно трудоемкий. Поэтому прокатные станы с ПНК целесообразно применять в случае невысокой производительности (до 120,0 тыс. т в год).

Бесстанинные клетки типа Red Ring лишены перечисленных недостатков ПНК, но несколько сложнее по конструкции и обладают большим весом.

Целью данной работы является определение основных технических характеристик прокатных клетей, разработка конструкции прокатной клетки на основе комплекса технических требований.

С использованием результатов приведенного теоретического анализа и экспериментальных исследований был сформулирован комплекс технических требований к конструкции чистовых клетей мелкосортного стана 280-2 ОМЗ:

- а) обеспечение осевого перемещения вала относительно подушки в заданном диапазоне;
- б) сведение к минимуму (менее 0,05 мм) осевого зазора в подшипниковом узле осевой фиксации вала при сборке клетки и возможности своевременной (т. е. в процессе эксплуатации клетки в линии стана) выборки осевого зазора, появляющегося из-за износа подшипника узла осевой фиксации;
- в) устранение осевых зазоров и предотвращение их появления в других соединениях (помимо подшипников упорного узла), воспринимающих осевые усилия;
- г) обеспечение возможности точного (с шагом 0,05 мм) осевого перемещения вала при осевой настройке клетки с количественной оценкой величины такого перемещения;
- д) обеспечение возможности точного (с шагом 0,05 мм) вертикального перемещения вала при настройке высоты калибра с количественной оценкой величины такого перемещения;
- е) обеспечение величины вертикальной жесткости клетки 400 кН/мм;
- ж) обеспечение предварительного вертикального нагружения валкового узла усилием 10...15 кН.

Вышеизложенные требования учтены в конструкции новой бесстанинной чистовой клетки 280/600.

Для стана «280-2» разработаны и изготовлены, в 2001 г., бесстанинные рабочая № 5 переменное дуо, предчистовая дуо № 6 и чистовая дуо № 7 клетки 280/600 (рис. 1). Разработанные клетки предназначены для замены клетей станинной конструкции. Диаметр бочки валков изменяется от 320 мм до 290 мм. Длина бочки вала равна 600 мм.

Клеть состоит из блока верхнего и нижнего валков, соединенных винтовыми стойками посредством бронзовых вкладышей. Резьба выполнена правой для вкладышей верхнего вала и левой для вкладышей нижнего, что позволяет при повороте винтов сдвигать или раздвигать подушки с валками, этим достигается требуемый межвалковый зазор. При этом сохраняется неизменной линия прокатки. Вкладыши имеют цилиндрическую форму для самостановки подушек при воздействии на них усилия прокатки, что благоприятно влияет на условия работы опор валков.

Для синхронного вращения всех винтовых стоек в верхней части клетки установлена траверса с комбинированным редуктором.

Траверса установлена на винтовые стойки через конические подшипники. На нижней плите устанавливаются подшипниковые корпуса, которые служат опорами для винтовых стоек и в целом клетки. Конструкция траверсы и нижней плиты разъемная, что позволяет производить перевалку на специальном стенде без разборки винтовых стоек и подшипниковых узлов.

Морфологическая матрица

| № п/п | Основные узлы клетки | Варианты исполнений | | | | | |
|----------|---|--|---|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Станина | закрытого типа | открытого типа | С-образная с отъемной боковой крышкой | бесстанинная с затяжкой клиньями | бесстанинная с затяжкой гидрогайками | бесстанинная четырехвинтовая |
| А. | Узел регулирования межвалкового зазора | винтовой | двухвинтовой | клиновой | эксцентриковый | прокладками | применения дискретных гидроцилиндров |
| Б. | Подшипниковый узел, воспринимающий радиальную нагрузку | подшипник скольжения | подшипник жид- костного трения | роликовый многорядный подшипник | сферический роликовый подшипник | Игольчатый подшипник | роликовый конический подшипник |
| В. | Узел осевой регулировки валка | прижимные планки | рычажная система (фаркопфы) | винтовой механизм | винтовой механизм с возможностью регулировки резьбового зазора | винтовой механизм с редуктором | с помощью гидроцилиндров |
| Г. | Подшипниковый узел, воспринимающий осевую нагрузку | упорный подшипник скольжения | радиально- упорный шариковый под- шипник | роликовый конический подшипник | упорный шариковый подшипник | упорный сферический роликовый подшипник | гидростатический подшипник |
| Д. | Узел предварительного нагружения деталей, воспринимающих радиальную нагрузку | уравновешива- ние веса верхнего валка пружинами | распор подушек пружинами | распор подушек гидроцилиндрами | распор по шейкам валков пружинами | распор по шейкам валков гидроцилиндрами | распор по бочке валков клиньями |
| Е. | Предварительное осевое нагружение клетки | сжатие бочки валка прижимными планками | гидравлическое нагружение упорного узла | гидравлическое нагружение гидростатическим подшипником | сжатие бочки валка гидроцилиндрами через прижимные планки | нагружение упорного узла с упорными сферическими роликовыми подшипниками | |

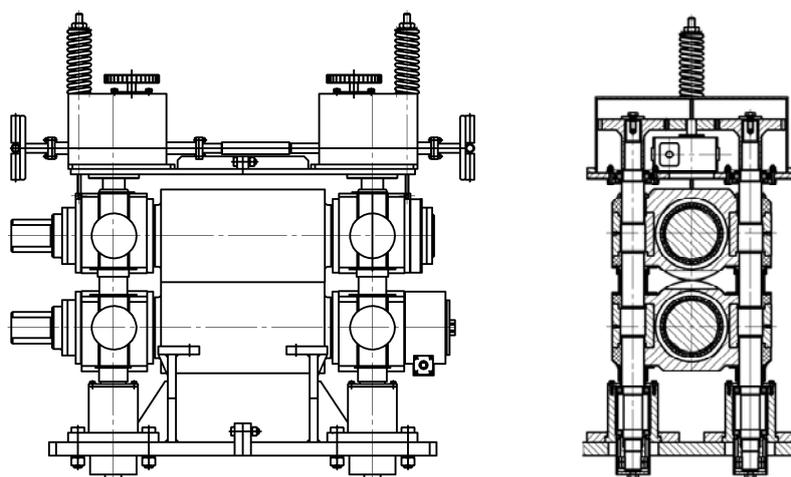


Рис. 1. Общий вид чистой клетки № 7 и предчистой клетки № 6

Для выборки зазоров в цепочке деталей и узлов, воспринимающих усилие прокатки, используется пружинный блок, позволяющий эффективно устранять зазоры как в резьбовых соединениях, так и в подшипниках валков.

Для этого на верхний валок (рис. 2) с двух сторон устанавливается два подшипниковых узла, не связанных с верхними подушками клетки. На корпусе подшипникового узла зафиксирована тяга, связанная с пружиной установленной на верхней траверсе клетки (рис. 1).

Таким образом, за счет усилия пружины верхний валок прижимает верхний ряд роликов основного подшипника к наружной обойме, которая в свою очередь воздействует на верхнюю подушку. Поднимаясь, подушка выбирает зазоры в сопряжении подушка-гайка и гайка-винт. Регулируя усилие затяжки пружины, можно добиться предварительного вертикального нагружения клетки на необходимую величину.

Верхний блок (рис. 2) состоит из подушек и размещенного в них нижнего валка. В качестве опор валков, воспринимающих усилие прокатки, использованы четырехрядные роликовые подшипники. Конструкция узла осевой фиксации валка не позволяет регулировать верхний валок в осевом направлении.

Осевая регулировка производится перемещаемым относительно подушек нижним валком (рис. 3). Диапазон осевой регулировки валка равен ± 5 мм.

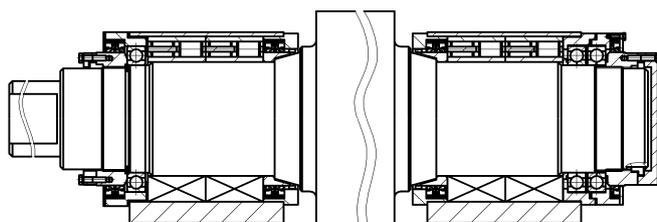


Рис. 2. Блок верхнего валка

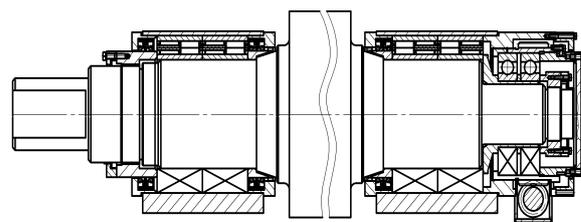


Рис. 3. Блок нижнего валка

Нижний блок состоит из подушек и размещенного в них нижнего валка. Узел осевой фиксации валка размещен в отдельном корпусе, в котором установлено разрезное зубчатое колесо, взаимодействующее с червяком механизма осевого перемещения валка. Упорный узел, фиксирующий валок в осевом направлении, размещен в подушке, расположенной со стороны обслуживания клетки.

Узел осевой фиксации нижнего валка (рис. 4) включает в себя резьбовой стакан, который вворачивается в корпус 1 и для компенсации осевых зазоров в резьбовом соединении состоит из двух половин 2 и 3. В торце половины 2 выполнены пазы, а в сопряженном торце половины 3 соответствующие выступы, за счет чего обе половины зафиксированы от поворота друг относительно друга. В результате разделения резьбового стакана на две части, которые могут смещаться одна относительно другой в осевом направлении, и размещения упорного элемента между ними обеспечивается устранение осевых зазоров в резьбе составного резьбового стакана при любом направлении воздействия осевого усилия.

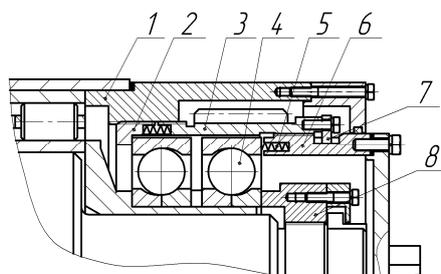


Рис. 4. Узел осевой фиксации нижнего вала

На второй части 3 резьбового стакана имеется зубчатый венец, который взаимодействует с червяком редуктора механизма осевого перемещения вала.

На валок через втулку устанавливаются разделенные втулкой радиально-упорные подшипники 4, внутренние обоймы которых зафиксированы гайкой 8. Наружные обоймы подшипников 4 в осевом направлении зафиксированы с одной стороны буртом части 2 составного зубчатого колеса, а с другой торцом резьбовой втулки 6, связанной резьбой с второй частью 3 резьбового стакана. В цилиндрических гнездах, расположенных в торце резьбовой втулки 6 установлены упругие элементы 5, служащие для выборки осевого зазора в подшипниках 4.

При этом между наружной обоймой подшипника 3 и внутренним отверстием зубчатого колеса 2 имеется зазор для исключения восприятия радиального усилия прокатки подшипником. Разработанная конструкция обеспечивает осевое биение вала не более 0,05 мм.

ВЫВОДЫ

Разработанная конструкция клетки включает в свой состав узел вертикального нагружения верхнего блока валков, осуществляемого по шейке верхнего вала усилием 8 кН, позволяющим обеспечить необходимую жесткость новой клетки в диапазоне малых усилий деформирования (от 50 до 100 кН).

Исследования вертикальной и осевой жесткости показали, что величина вертикальной жесткости новых клеток равна 400 кН/мм и не имеет начального участка нелинейной жесткости.

Осевая жесткость имеет нелинейный характер и в диапазоне действующих осевых усилий (до 10...15 % от вертикального усилия) равна 100 кН/мм. Осевой зазор в подшипниковых опорах снижен до 0,05 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование условий прокатки на стане «280-2» и разработка мероприятий направленных на повышение точности прокатки / В. П. Шеногин, С. А. Нелюбин, А. В. Храбров, М. А. Саватеев // *Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов : труды международной научно-технической конференции*. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 424–429.

2. Нелюбин С. А. Условия обеспечения производства проката повышенной точности на мелкосортных станах / С. А. Нелюбин, В. П. Шеногин, Н. В. Тепин // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2010. – Т. 12. – № 1 (2). – С. 453–456.

Шеногин В. П. – д-р техн. наук, проф. ИГТУ;

Тепин Н. В. – канд. техн. наук, доц. ИГТУ;

Нелюбин С. А. – техн. директор ЗАО «ОМЗ»;

Загуменов А. П. – гл. инженер ОАО «Ижсталь».

ИГТУ – Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск, Россия.

ЗАО «ОМЗ» – «Омутнинский металлургический завод», г. Омутнинск, Россия.

ОАО «Ижсталь», г. Ижевск, Россия.

E-mail: omd@istu.ru