

**В.А. Сидоров /к.т.н./, Д.Ю. Подопринин**  
*ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

## КОМБИНИРОВАННЫЕ РЕДУКТОРЫ ПРОКАТНЫХ КЛЕТЕЙ

*Рассмотрены типовые технологические линии сортовых прокатных станов. Выполнен обзор существующих конструкций и конструкторских особенностей комбинированных редукторов привода прокатных клетей сортовых прокатных станов для определения тенденций развития конструкций. Определены возможные характерные отказы.*

**Ключевые слова:** *привод прокатной клетки, комбинированный редуктор, конструкция, отказы.*

В истории конструкций металлургических машин возможны варианты:

- конструкция механизма остаётся неизменной на протяжении длительного периода времени, а последующие варианты являются развитием основного конструкторского решения;

- на протяжении длительного периода отмечается многовариантность конструкций механизмов, выполняющих одинаковую технологическую операцию.

Первый вариант является признаком достижения необходимого уровня эксплуатационной надёжности. Второй вариант указывает на поиск оптимальной или рациональной конструкции при проектировании. Исходными предпосылками для изменения конструкции станом становятся зафиксированные отказы и установленные их причины. В этой связи можно вспомнить неизменность конструкций скиповых подъёмников и многообразие конструкторских решений механизма поворота свода электродуговой печи.

Но есть и третий вариант – когда конструкторское решение, оставаясь принципиально неизменным, используется при проектировании механического оборудования металлургических предприятий длительное время. При этом отмечаются различия в конструкции отдельных узлов и общей компоновке механизмов. К таким решениям относятся комбинированные редукторы привода прокатных клетей.

Целью данной работы является определение тенденций развития конструкций комбинированных редукторов привода прокатных клетей сортовых станом на основании проведенного обзора, а также анализ характерных отказов для разработки в дальнейшем путей повышения безотказности редукторов.

Завершающая стадия металлургического процесса - производство сортового проката. Данный технологический процесс развивался от индивидуальной прокатки 100 кг слитков (рис. 1а, 1б) до непрерывной прокатки 2 т слитков.

Схема расположения и привод рабочих клетей сортовых станом был одноклетьевым, последовательным, линейным, последовательно-непрерывным и непрерывным.

В настоящее время, производство сортового проката реализуется на непрерывных прокатных станом (рис. 1в, 1г). Современный сортовой прокатный стан включает от 15 до 30 клетей, имеющих индивидуальный или групповой привод. Мощность привода прокатной клетки составляет 300-1000 кВт. Частота вращения входного вала – 300-1000 об/мин. Частота вращения выходных валов – 10-1000 об/мин. Для чистовых блоков проволочных станом частота вращения достигает 10000 об/мин. Основным конструкторским решением в приводе прокатных клетей является использование комбинированных редукторов [1,2]. Данные редукторы совмещают функции изменения частоты вращения, момента и разделения крутящего момента (редуктора и шестеренной клетки). Вертикальные редукторы устанавливаются на высоких станинах, такие конструкции применяют фирмы SMS Meer, MWE и др.

Для исключения кантовки заготовки при непрерывной сортовой прокатке клетки располагают под углом 90° относительно друг друга, благодаря чему металл поочередно деформируется различными участками калибра [3]. Известны две схемы взаимного расположения рабочих клетей. По первой схеме рабочие валки поочередно располагаются в горизонтальном и вертикальном положениях. По второй схеме клетки устанавливают под углом 45° к горизонту, попеременно с одной и другой стороны, при этом оси соседних пар валков располагаются под углом 90°. Первая схема получила большее распространение для среднесортных станом, вторая – чаще используется при прокатке труб, встречаются решения и для сортовых станом.

Чередование горизонтальных и вертикальных клетей в сочетании с комбинированными

редукторами, позволяет сделать технологическое оборудование прокатного стана максимально компактным. При совмещении цилиндрического редуктора и шестерённой клетки, собранных в одном корпусе, снижается общее количество оборудования, длина валопроводов. Одно из первых конструкторских решений с использованием комбинированных редукторов использовалось на полу-непрерывном средне-мелкосортном стане «350/250» радиально-сдвиговой и непрерывной прокатки (рис. 2). Стан предназначен для производства среднего и мелкого сортового проката и катанки из легированных и высоколегированных сталей и сплавов [4]. Приводы горизонтальных клеток имеют традиционное решение, включающее (рис. 2а) двигатель – соединительную муфту – редуктор – соединительную муфту – шестерённую клетку – шпиндельное устройство – прокатные валки. В конструкции привода вертикальных клеток схема привода значительно короче (рис. 2б): двигатель – соединительная муфта-комбинированный редуктор – шпиндельное устройство – прокатные валки.

Некоторые особенности данного конструкторского решения.

1. Литой корпус, состоящий из двух частей,

соединённых по фланцу резьбовыми соединениями обеспечивает высокую жёсткость редуктора.

2. Двухступенчатый вертикальный редуктор имеет косозубое зацепление и бесконтактное уплотнение выходных валов шестерённой клетки.

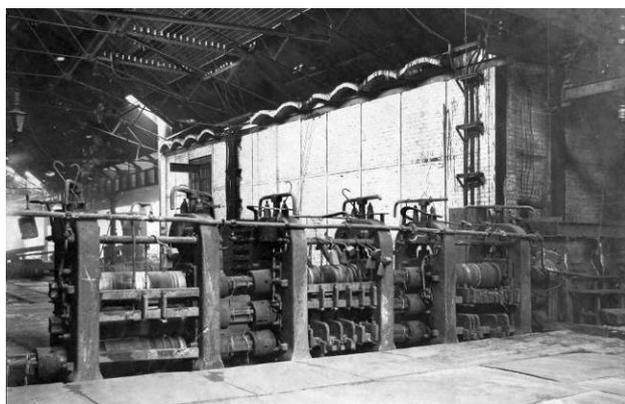
3. Используются жёсткие роликподшипники радиально-упорные конические двухрядные регулируемые, в верхней части применяется посадка подшипника на коническую втулку.

В нижней части валов редуктора устанавливаются роликподшипники с цилиндрическими роликами или роликподшипники радиально-упорные конические двухрядные регулируемые. Конструкция подшипниковых узлов меняется в зависимости от типоразмера редуктора.

4. Смазывание осуществляется при помощи форсунок.

5. Осевая фиксация и регулировка валов выполняется при помощи дистанционных колец и торцевых гаек.

Эксплуатация комбинированных редукторов данной конструкции показывает уязвимость от подачи смазки, что характерно для всех вертикальных редукторов. Редукторы первых клеток обеспечивают достаточно высокий уровень экс-



а



б



в



г

Рис. 1. Производство сортового проката:

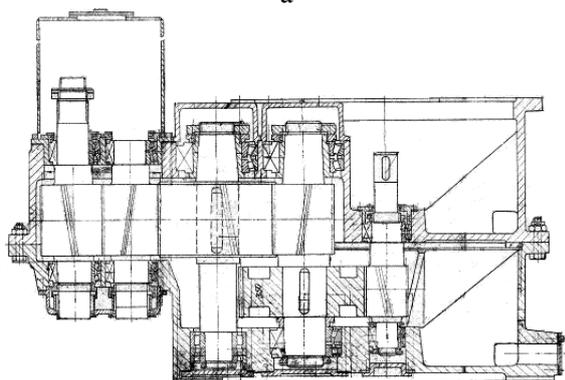
- а – линейный привод чистовых клеток стана 350;
- б – прокатка на стане 350;
- в – непрерывный сортовой стан T.D.C. Steel Group Co. Ltd (Таиланд);
- г – проволочный стан Gerdau Acominas (Бразилия)



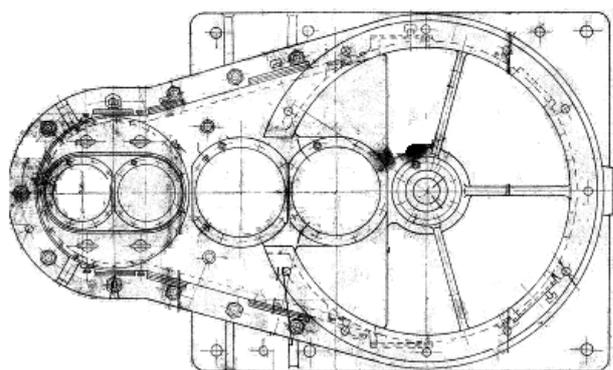
а



б



в



г

Рис. 2. Привод горизонтальных (а) и вертикальных (б) валков, а также разрез (в) и вид сверху (г) комбинированного редуктора прокатных клетей средне-мелкосортного стана «350/250»

плуатационной надёжности за счёт сочетания жёсткой установки валов в жёсткий корпус и низкой частоты вращения выходных валков. Редукторы выходных клетей имеют меньшие габариты и жёсткость корпуса, частота вращения более высокая. Это приводит к повышенному износу соединительных муфт и посадочных поверхностей подшипников второго вала из-за действия изгибных напряжений. Требуется точная центровка валов двигателя и редуктора, балансировка валов. Основной причиной нарушений в работе редуктора являются периодические изменения сил в зубчатом зацеплении при захвате слитка.

При установке клетей под углом  $45^\circ$  к горизонту вращение рабочим валкам 1 (рис. 3) передаётся через комбинированную шестерённую клеть 2 и шпиндельные соединения 3. Используются коническо-цилиндрические и цилиндрические косозубые передачи. В случае применения цилиндрических передач двигателя 5 располагаются наклонно. Это определяет большие нагрузки на нижний подшипник электродвигателя. Мощность приводных двигателей – 1600 кВт, частота вращения – 400-800 об/мин [5,6].

Клетки аналогичны по конструкции, отлича-

ются передаточным отношением и количеством валов. Комбинированные редукторы главного привода соединяются при помощи зубчатых муфт с электродвигателями и при помощи шпинделей с прокатными клетями. По мере износа рабочих валков проводят перевалку и устанавливают клетки.

Конструкторские особенности данного решения.

1. Сварной корпус, состоящий из двух частей, соединённых по фланцу резьбовыми соединениями имеет наклонное расположение. Жёсткость корпуса определяется затяжкой резьбовых соединений.

2. Двухступенчатый или одноступенчатый редуктор имеет косозубое зацепление. Уплотнение входного и выходных валов – контактное, манжетное.

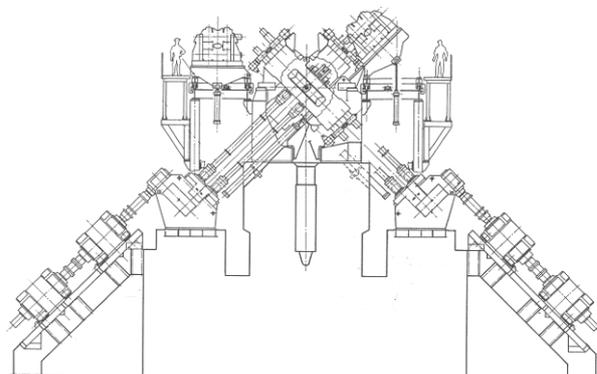
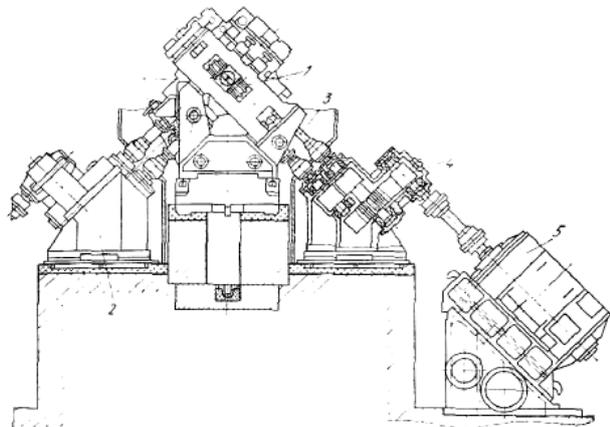
3. Используются жёсткие роликоподшипники радиально-упорные конические двухрядные регулируемые, нижний подшипник нижнего вала является внутренним и недоступен для контроля. Подшипники установлены в стаканах, что осложняет контроль их технического состояния. Конструкция подшипниковых узлов однотипна.

4. Смазывание зубчатых передач осуществляется при помощи форсунок. Каждый подшипник имеет индивидуальный подвод и отвод смазки.

5. Осевая фиксация реализуется при помощи торцевых гаек и шайб. Регулировка положения зубчатых колёс возможна при помощи прокла-

док для стаканов фиксированной верхней опоры подшипников.

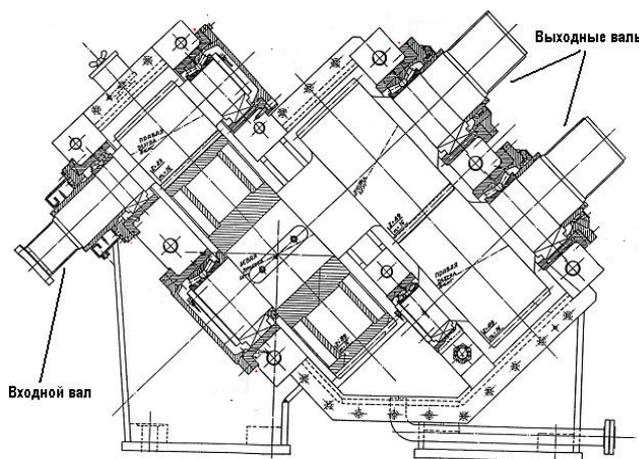
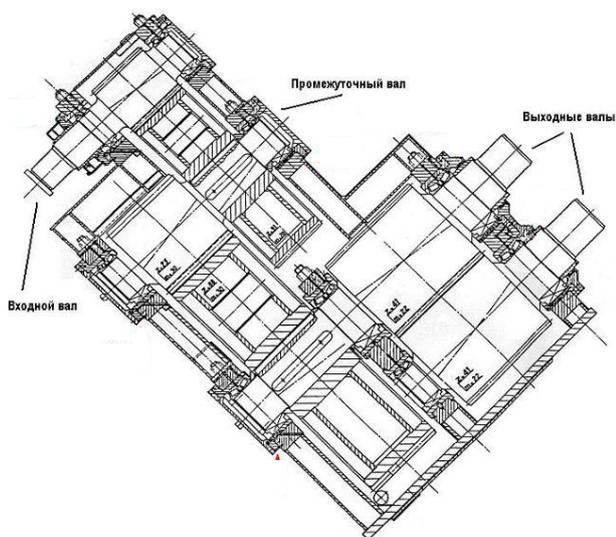
Для клетей калибровочного стана установлены двигатели мощностью 500 кВт и регулируемой частотой вращения в пределах 500-800 об/мин и редуктор коническо-цилиндрический, комбинированный с шестеренной клетью (рис.



а



б



в

Рис. 3. Непрерывный стан с наклонным расположением двигателей:  
 а – схема расположения клетей; б – общий вид привода;  
 в – конструкция комбинированных клетей

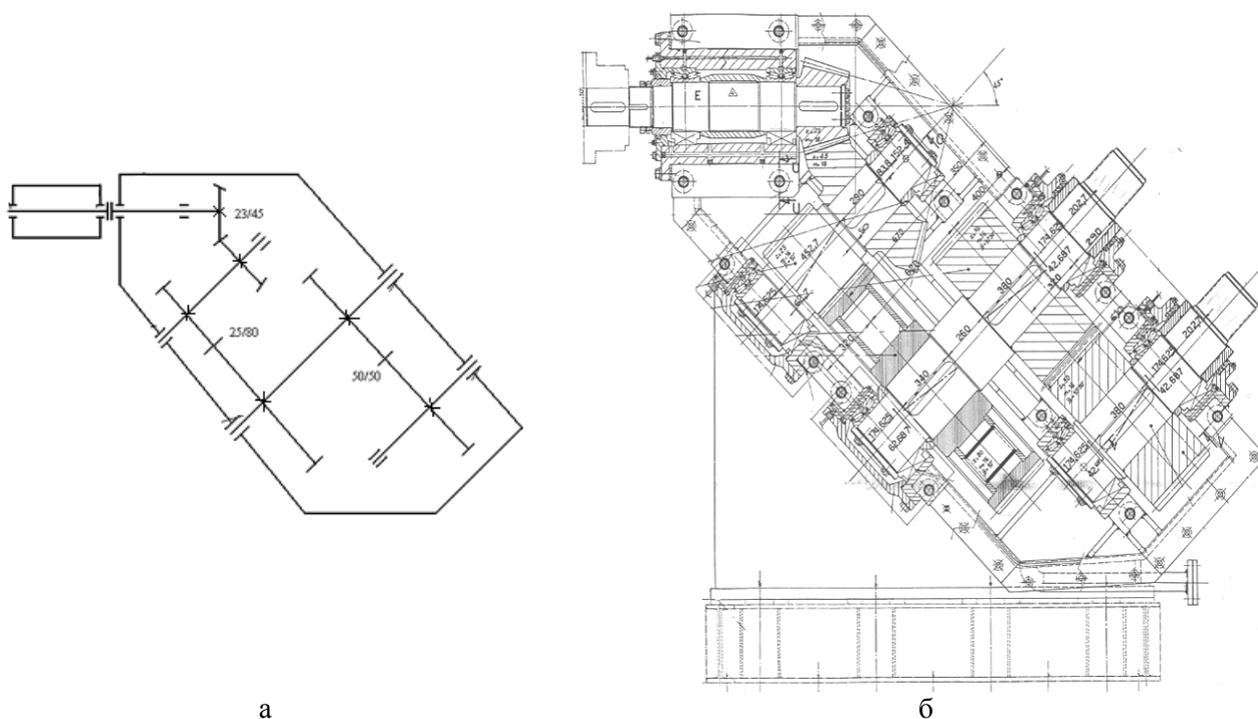


Рис. 4. Кинематическая схема (а) и чертеж в разрезе (б) редуктора привода прокатных клетей калибровочного стана

4). Все конструкторские решения, за исключением использования конической передачи на первой ступени редуктора, соответствуют ранее рассмотренным.

Используемые в подшипниковых опорах роликоподшипники радиально-упорные конические двухрядные воспринимающие радиальные и двусторонние осевые нагрузки. Данные подшипники ранее имели повышенную динамическую грузоподъемность по сравнению с двухрядными сферическими роликоподшипниками. Эти роликоподшипники – регулируемые, заданные радиальный зазор и осевая игра обеспечиваются подгонкой дистанционного кольца, установленного между внутренними кольцами.

Наклонное расположение валов приводит к преобладающему воздействию односторонней осевой нагрузки. Это разгружает один ряд роликов и снижает общую долговечность подшипника. В процессе работы происходит износ элементов подшипника, возможно ослабление фиксирующих элементов, приводящие к увеличению зазоров и осевой игры и требует проведения регулировочных операций.

Практика эксплуатации металлургических машин показывает целесообразность отказа от использования регулируемых подшипников. Кроме того, характеристики выпускаемых в настоящее время сферических двухрядных роликоподшипников сравнимы или превышают характеристики роликоподшипников радиально-упорных конических двухрядных.

Роликоподшипники радиально-упорные конические двухрядные практически исключают перекос вала относительно корпуса. Износ посадочных мест и возникший перекос может быть компенсирован при установке сферических роликоподшипников, допускающих работу при значительном (до 2-3°) перекосе. Поэтому, использование в конструкции подшипников опор двухрядных сферических роликоподшипников может повысить безотказность данного механизма.

Основными причинами аварийных остановок оборудования являются выходы из строя подшипников качения. Причина – попадание воды в смазку, появляется коррозия, увеличение абразивного износа. Иногда содержание воды в смазочном масле доходило до 15 %. Подшипники изнашивались, заклинивали. После проведения модернизации попадание воды в редукторы было исключено.

После длительной эксплуатации обнаружен обрыв крепежных болтов.

Происходит износ деталей шпиндельного соединения, приводящий к появлению биений, дисбалансу шпинделей между редуктором и прокатной клетью.

Закреплен износ промежуточной вставки между электродвигателем и редуктором, который приводит к проседанию вала вставки на вал электродвигателя, ослаблению болтов крепления полумуфты, а также на поздней стадии развития к видимому раскрытию между полумуфтой и

прижимным кольцом полумуфты.

Подшипники расположены в стаканах для возможности восстановления посадочных мест. Наиболее нагруженный - подшипник верхнего вала со стороны клетки, испытывающий воздействие двусторонней осевой нагрузки во время перехода от холостого хода к прокатке.

При эксплуатации необходим контроль состояния отверстий для подачи и слива масла. В данной конструкции верхние подшипники и наружные ряды тел качения весьма уязвимы. Смазка подаётся по центру к внутреннему ряду, наружный ряд остаётся без смазки. Наружный ряд тел качения не нагружен и имеет повышенный зазор между телами качения и беговой дорожкой. При ослаблении резьбовых соединений появляется зазор между наружным кольцом подшипника и стаканом – в результате снижается подача смазки на тела качения подшипника.

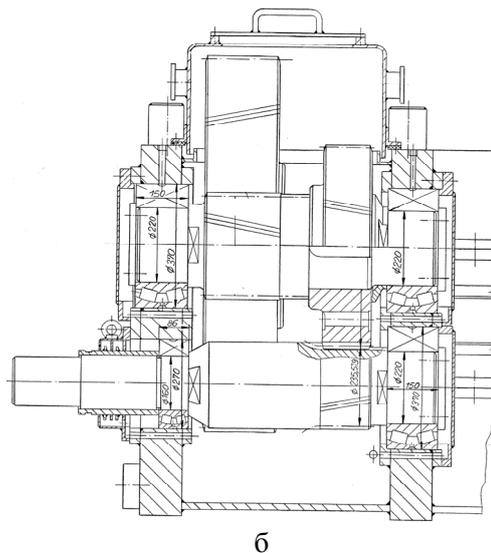
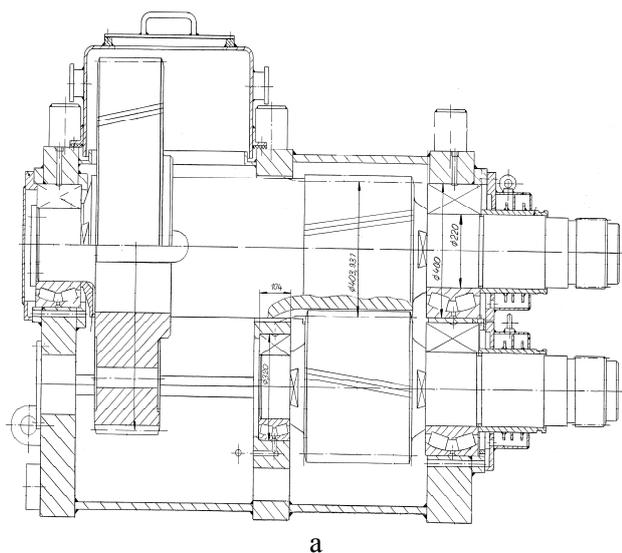
В некоторых конструкторских решениях коническая передача выполняется в отдельном корпусе. Чаше коническая и цилиндрические передачи совмещаются в одном корпусе. Первые

черновые клетки выполняют с отдельным приводом горизонтальных (рис. 5) и вертикальных валков (рис. 6).

Для редуктора привода горизонтальных валков характерно:

- применение сварных корпусов;
- использование двухрядных сферических роликоподшипников;
- горизонтальное расположение и бесконтактное уплотнение валов;
- индивидуальная смазка подшипников и зубчатых передач;
- использование форсунок в системе смазывания.

Это определяет высокую надёжность данной конструкторской схемы. Исключением является отклонение от цилиндричности посадочных мест в подшипниковых опорах при старении металла. Это сопровождается неравномерной нагрузкой между телами качения и разрушениям сепаратора (рис. 5). Трещины на внутреннем кольце подшипника в данном случае являются вторичными последствиями.



в

Рис. 5. Комбинированный редуктор привода горизонтальных валков (а, б) и разрушение сепаратора подшипника холостой стороны приводного вала (в)

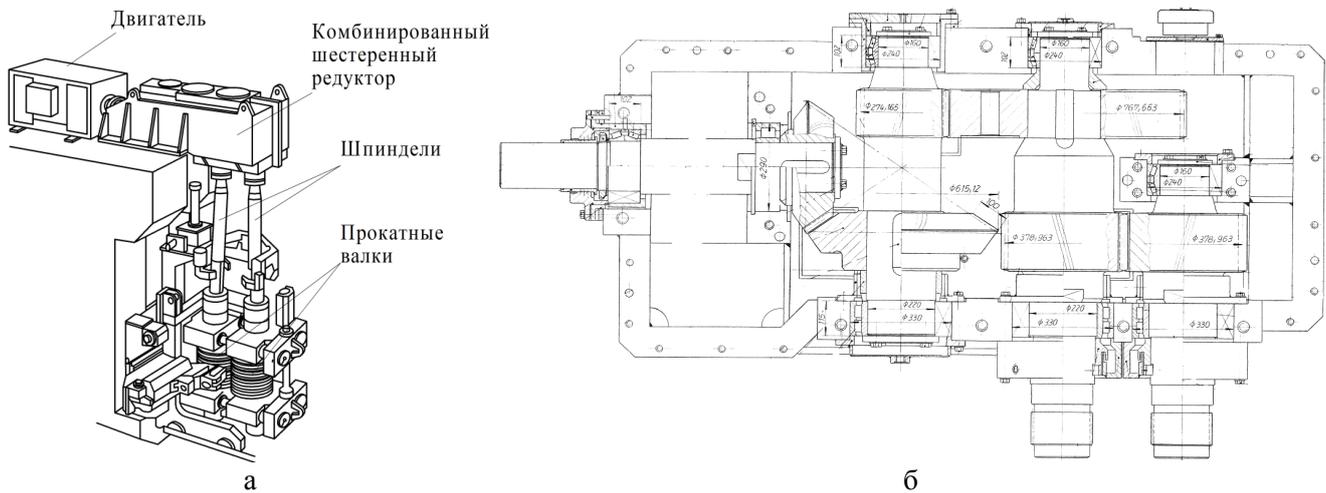


Рис. 6. Общий вид (а) и разрез редуктора (б) комбинированного редуктора привода вертикальных валков

В приводе вертикальных валков используются следующие решения (рис. 6):

- сварной корпус;
- комбинация сферических и цилиндрических двухрядных роликовых подшипников для осевой фиксации и обеспечения осевых смещений;
- расположение двухрядных сферических роликоподшипников в стаканах;
- индивидуальная подача смазки для подшипников и применение форсунок для смазывания зубчатых передач;
- бесконтактное уплотнение валов.

Причинами поломок редукторов могут быть экстремальные ситуации, например, прекращение подачи смазки. Второй вал данной конструкции подвержен действиям изгибающего момента, меняющего свои значения в процессе холостого и рабочего хода, имеющего резкое увеличение значения в момент захвата слитка [7].

Выпуск широкого сортамента продукции и требование быстрой перестройки режимов прокатки осуществляется в случае применения комбинированных клетей с вертикальными и горизонтальными валками в чистовой группе (рис. 7). Главная линия комбинированной клетки включает: приводной электродвигатель; соединительную зубчатую муфту; комбинированный с шестерённой клетью коническо-цилиндрический редуктор, оснащённый механизмом переключения; шпиндельное соединение с горизонтальными валками; шпиндельное соединение с комбинированным редуктором для привода вертикальных валков; шпиндельное соединение с вертикальными валками. Мощность привода 880 кВт, частота вращения входного вала – 300-1000 об/мин, выходных валов 10-1000 об/мин.

Корпус редуктора сварной и состоит из трех частей: верхней, средней и нижней. Части со-

единены между собой при помощи болтовых соединений, центрирование осуществляется при помощи штифтов. Валы опираются на подшипники качения и уплотнены бесконтактно.

Горизонтальный редуктор прокатной клетки с универсальным приводом состоит из: трех цилиндрических косозубых передач, одной конической передачи, пяти валов и 14-ти подшипников. Момент передается от двигателя, через муфту, на входной вал редуктора, затем на переключающую муфту, положение которой определяет подачу крутящего момента на шестерённую клеть горизонтальных валков или через коническую передачу для привода вертикальных валков. На хвостовиках шестерённых валков закрепляются муфты шпиндельного соединения.

Конструкторские особенности редукторов аналогичны приведенным на рис. 5 и 6. Несмотря на сложность конструкции, уровень эксплуатационной надёжности редуктора привода горизонтальных валков высок, что выражается в отсутствии внезапных отказов за 6 лет эксплуатации. Конструкция данного редуктора отличается наличием большого количества узлов трения, для работы которых, в частности механизма переключения, необходима система смазки, обеспечивающая надёжное смазывание данного узла. Нарушение данного условия приводит к ускоренному износу подшипников и переключающей муфты (рис. 8).

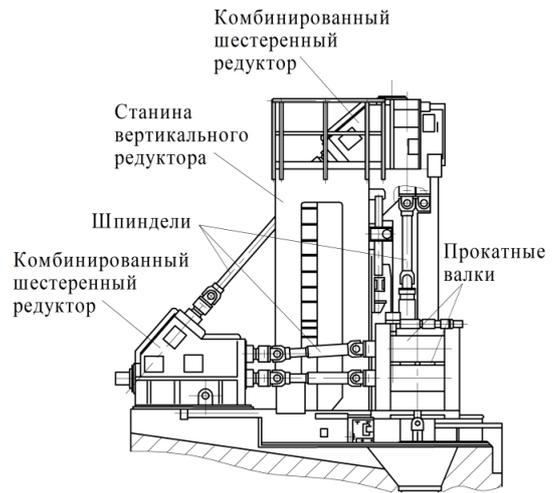
## Выводы

Таким образом, проведенный анализ развития конструкции комбинированных редукторов показывает:

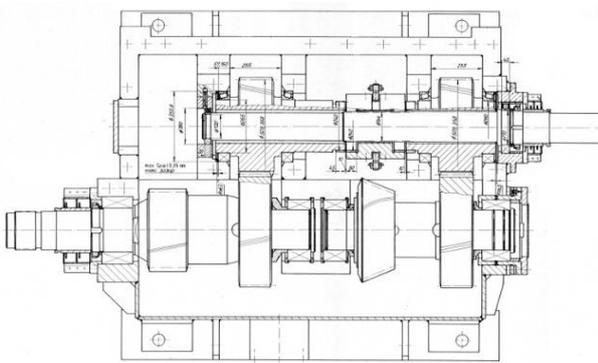
- основные отличия представлены конструкцией корпуса, неизменно жёсткого, сочетаемого с жёсткой установкой валов в роликоподшипниках;



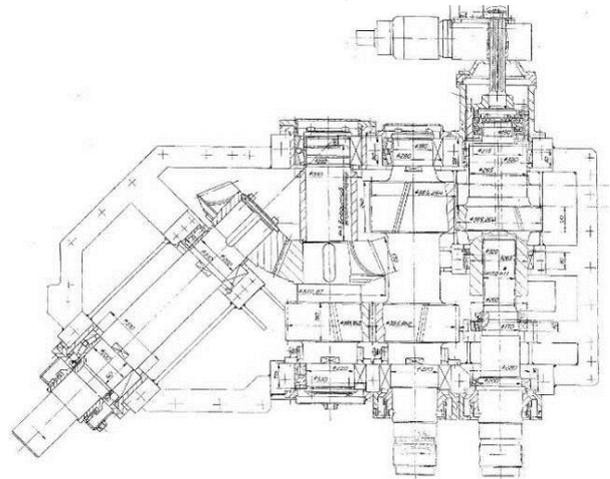
а



б



в

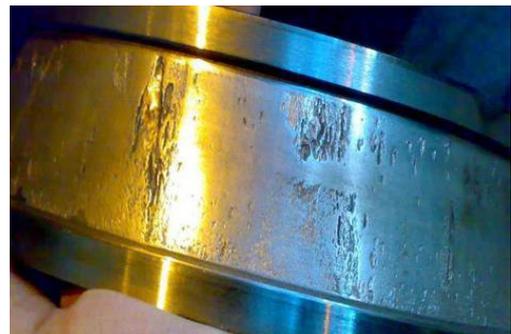


г

Рис. 7. Универсальный привод горизонтальных и вертикальных валков:  
 а – общий вид; б – схема расположения механизмов; в – редуктор привода горизонтальных валков с механизмом переключения; г – редуктор привода вертикальных валков



а



б

Рис. 8. Износ переключающей муфты (а) и беговых дорожек внутренних колец подшипников (б) при нарушении режима смазывания

– наиболее характерный отказ связан с нарушением в режиме смазывания, скорость развития повреждений в данном случае велика и не может быть предупреждена проведением периодических осмотров;

– оптимальное конструкторское решение включает горизонтальное расположение электродвигателей комбинированных редукторов

привода прокатных клетей сортовых прокатных станков.

**Список литературы**

1. Frequency analysis of chatter vibrations in tandem rolling mills / M.R. Niroomand, M.R. Forouzan, M. Salimi et al. / Journal of Vibroengineering. – 2012. – Vol.14, Issue 2. –

- Р. 852-865.
2. An Online Fault Pre-warning System of the Rolling Mill Screw-down Device Based on Virtual Instrument / Q. Bai, B. Jin, Y. Gao, H. Zhang // *Sensors & Transducers*. – 2014. – Vol.168, Issue 4. – P. 1-7.
  3. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др., 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия. 1988. – 680 с.
  4. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
  5. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
  6. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов (эксплуатация, надежность). Учебное пособие для студ. сред. спец. учеб. зав. – М.: Интернет Инжиниринг, 2004. – 320 с.
  7. Sushko A.E. Methodology of introducing hardware/software systems for monitoring and diagnosing rolling mills / *Metallurgist*. – 2010. – Vol.54, Issue 5-6. – P. 367-373.

**V.A. Sidorov /Sci. Cand. (Eng.)/, D.Y. Podoprikin**  
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

### COMBINED REDUCERS FOR ROLLING STANDS

**Background.** *The final stage of smelting is the production of long products. The technological process was developing from individual rolling 100-kg ingots to continuous rolling 2-ton ingots. The arrangement scheme and the drive of working stands of section mills were one-stand, sequential, linear, sequentially-continuous and continuous. Currently, long products production is carried out on continuous rolling mills. The main design decision in the drive of rolling mill stands is the use of combined reducers. These reducers combine the functions of changing rotation frequency, torque and split torque (reducer and gear stand). Determination of the development tendencies of combined reducers' designs will allow making informed decisions when designing new and reconstructing operating drives. The analysis of characteristic failures is necessary for the further improvement of the reducers' reliability.*

**Materials and/or methods.** *The study is based on a review of the development of combined reducers of various design solutions. Various types of combined reducers for rolling stands of section rolling mills and the main causes of fault in the specific design solution are examined.*

**Results.** *The design solution, while remaining fundamentally unchanged, has been used in designing the drives for the working stands of section mills for a long time. The main differences are associated with the hull elements, their location, the assembly sequence, unchanged remains the high rigidity hull combined with rigid shaft installing in roller bearings. There is a lack of reliability of lubrication systems represented by spray nozzles; the rate of damage development, in this case, is large and can not be prevented by carrying out regular inspections. The review indicates a waiver of the vertical location of the motors and installing them in a horizontal position, notwithstanding the use of a more complicated in design and maintenance conical-cylindrical reducer.*

**Conclusion.** *The analysis of the structure development of combined reducers shows that the main differences are associated with the hull design, the most typical failures are caused by a disturbance in the lubrication regime, and the optimal design solution involves a horizontal location of the electric motors of combined reducers.*

**Keywords:** *rolling stand drive, combined reducer, design, failures.*

#### Сведения об авторах

##### **В.А. Сидоров**

Author ID: 55424503900  
 Телефон: +380 (50) 273-87-79  
 Эл. почта: sidorov\_va@ukr.net

##### **Д.Ю. Подопрехин**

Телефон: +380 (50) 616-51-00  
 Эл. почта: podoprihin\_dmitriy@mail.ru

*Статья поступила 18.12.2015 г.  
 © В.А. Сидоров, Д.Ю. Подопрехин, 2016  
 Рецензент д.т.н., проф. С.П. Ерньоко*