

Список литературы: 1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584с. 2. Дусев И.И., Васильев В.М. Аналитическая теория пространственных зацеплений и ее применение к исследованию гипоидных передач. – Новочеркасск: Изд НПИ, 1968. – 148с. 3. Гавриленко В.А. Основы теории эвольвентной зубчатой передачи. – М.: Машиностроение, 1969. – 431с. 4. Болотовский И.А., Безруков В.И., Васильев О.Ф. и др. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных цилиндрических передач. Новый подход. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2004. – 94с. 5. Шишов В.П., Носко П.Л., Филь П.В. Теоретические основы синтеза передач зацеплением. – Луганск: СНУ им. Даля, 2006. – 408с. 6. Воронцов Б.С. Математическое обеспечение интерактивного синтеза передач зацеплением // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода", – Харьков, 2010. – №27. – С.49-54. 7. Коростелев Л.В. Кинематические показатели несущей способности пространственных зацеплений // Изв. Вузов. Машиностроение. – 1964. – №10. – С.5-15. 8. Ленский М.Ф. Инвариантная теория плоских кинематических пар с точечным касанием. // Машиноведение – 1967 – №5. 9. Бабичев Д.Т. Вопросы исследования геометрии и кинематики пространственных зацеплений: Дис... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1971. – 140с. (Автореф. – Новочеркасск: НПИ, 1971. – 22с.). 10. Ленский М.Ф., Прохоров В.П. Обобщенные показатели зубчатых зацеплений с параллельными осями // Машиноведение. – 1971 – №5. – С. 67-77. 11. Babichev D.A., Serebrennikov A.A., Babichev D.T. Qualitative indexes of flat engagements operation // Proceedings The 7th international scientific conference "Research and Development of mechanical Elements and Systems": IRMES 2011. Zlatibor, Serbia. – 2011. – S.623-630. 12. Бабичев Д.А. Виброактивность сил трения в цилиндрических прямозубых передачах и критерии для ее оценки // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода", – Харьков, 2011. – №29. – С.3-11. 13. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам – М.: Машиностроение, 1987. – 560с. 14. Бабичев Д.Т., Сторчак М.Г., Бабичев Д.А. Основы синтеза профилей зубьев цилиндрических передач, обладающих повышенной контактной прочностью // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода", – Харьков, 2012. – №36. – С.10-19.

Поступила в редакцию 10.03.2013

УДК 621.83

Показатели чувствительности цилиндрических передач к изменению межосевого расстояния / Д.А. Бабичев, Д.Т. Бабичев, М.Г. Сторчак, А.Ю. Тайсин // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Проблемы механического привода. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2013. – №40(1013). – С.9-17. – Библиогр.: 16 назв.

Запропоновано систему якісних показників для кількісної оцінки чутливості циліндричних передач до зміни міжосової відстані a_w . Ці показники характеризують, як при відомих профілях зубців зміна a_w впливає на: передавальне число, бічний зазор і положення контактної точки. Наведено формули для обчислення всіх запропонованих показників, а також діаграми – приклади їх використання для конкретних передач.

Ключові слова: циліндрична передача, похибки зацеплення, якісні показники.

Offer a system of quality indicators for quantity evaluation of sensitivity of cylindrical gearings from change center distance a_w . Indicators are characterizing how changing of a_w with known tooth profile is affect to: transmission ratio, backlash and meshing point position. Approved formulas for calculation all presented indicators, also diagrams – as examples of using for concretely gears.

Keywords: cylindrical gearing, gearing error, gearings qualitative indicators.

УДК 621.833.38

В.В. БЕДНЯКОВ, к.т.н., заместитель Главного конструктора ОАО "ЭЗТМ", Электросталь, Московская обл., Россия;
С.А. ЛАГУТИН, к.т.н., ведущий конструктор ОАО "ЭЗТМ";
Е.А. ГУДОВ, ведущий инженер-конструктор по редукторостроению ОАО "ЭЗТМ"

РЕДУКТОРЫ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Обобщен опыт Электростальского завода тяжелого машиностроения в области проектирования и производства специальных редукторов и шестеренных клетей главного привода прокатных станов различного назначения: сортовых и шаропркатных, прошивных и редукционных, станов холодной про-

© В.В. Бедняков, С.А. Лагутин, Е.О. Гудов, 2013

катки труб и станов для производства арматурного проката. При их проектировании учитывается специфика работы стана и, прежде всего циклограмма нагрузок, зависящая как от номенклатуры прокатываемых изделий, так и переменности нагрузок внутри цикла прокатки одной заготовки. Геометрические параметры зубчатых передач оптимизируются по критерию контактной и изгибной равнопрочности, как между ступенями, так и внутри каждой из них. Предусмотрено и технологически обеспечено выполнение зубчатых передач с высокотвердыми, цементованными и шлифованными зубьями.

Ключевые слова: редуктор, шестеренная клеть, прокатный стан, циклограмма нагрузок.

Введение. За 70 лет своей истории Электростальский завод тяжелого машиностроения накопил богатый опыт проектирования, изготовления и комплектной поставки прокатных станов, как для нашей страны, так и для дальнего зарубежья. Комплекс машин и механизмов прокатного стана насыщен различными специальными редукторами, используемыми как в главных приводах, так и во вспомогательном оборудовании.

Традиционная схема привода любого прокатного стана включает в себя главный редуктор, обеспечивающий необходимое передаточное число между электродвигателем и рабочей клетью, и шестеренную клеть, предназначенную для распределения передаваемого момента между валками рабочей клетки [1-3]. Для соединения шестеренной и рабочей клеток используются универсальные или зубчатые шпиндели [4], обеспечивающие возможность работы привода при изменении расстояния между рабочими валками после каждой их переточки.

Одним из направлений совершенствования рабочих линий стана является совмещение главного редуктора с шестеренной клетью и другими механизмами, что позволяет сократить производственные площади, снизить трудоемкость и себестоимость создаваемого объекта [5].

В данной статье рассматривается эволюция различных специальных редукторов прокатного оборудования. В основном, приведены сведения о разработках, защищенных патентами Российской Федерации [6-9].

Особенности проектирования редукторов привода прокатных станов. Редуктор общемашиностроительного применения проектируется, исходя из условия работы под постоянной нагрузкой в течение гарантийного срока. При проектировании специальных редукторов, предназначенных для привода конкретных машин, необходимо учитывать специфику работы этих машин и прежде всего циклограмму нагрузки привода.

В Конструкторском отделе ЭЗТМ расчет зубчатых передач на прочность выполняется в программном пакете REDUK 4.3, который по просьбе и с участием ЭЗТМ был разработан в конце 90-х годов Отделом технологии зубчатых передач ЦНИИТМАШ на основании ГОСТ 21354-87.

Важной особенностью этого пакета является выполнение прочностных расчетов зубчатых передач с учетом ожидаемой циклограммы нагружения. В результате расчета определяются крутящие моменты на выходном валу редуктора, допускаемые контактной и изгибной выносливостью зубьев каждой из ступеней.

При проектировании многоступенчатого редуктора его основные геометрические параметры: межосевые расстояния и передаточные числа ступеней, модули и ширины зубчатых колес, должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить одинаковые запасы прочности по каждому из указанных критериев. При изменении закладываемой в исходные данные циклограммы нагружения, величины каждого из указанных моментов существенно изменяются, причем изменяются не только их абсолютные значения, но и соотношения между ними. Геометрические пропорции редуктора, оптимальные для постоянной нагрузки, как правило, требуют существенного изменения для ступенчатой циклограммы нагружения.

Проектируя специальный редуктор главного привода конкретного прокатного стана, конструктор может и должен знать и учитывать:

- номенклатуру продукции, прокатываемой на этом стане,
- ожидаемый процент загрузки стана выпуском каждого типоразмера,
- режимы (момент и скорость) прокатки для каждого из типоразмеров,
- соотношение времени рабочего и холостого ходов в цикле прокатки.

На основании этих данных необходимо построить циклограмму нагружения, для каждой из ступеней которой указываются

- крутящие моменты на ведущем валу по отношению к наибольшему,
- относительная продолжительность действия каждого из моментов,
- частота вращения ведущего вала, об/мин.

Например, на прошивном стане трубопрокатного агрегата "400" Северского трубного завода планируется прошивать заготовки диаметров Ø400 и Ø290, данные по режимам прокатки которых приведены в таблице 1.

Циклограмма нагружения составляется в относительных единицах, начиная со ступени с наибольшим крутящим моментом, и позволяет учитывать до 10 ступеней. В приведенном примере она включает в себя 5 ступеней и имеет вид, показанный в таблице 2.

В число исходных данных для расчета включается максимальный кратковременный крутящий момент, на основании которого выполняется проверка контактной и изгибной прочности зубьев при действии пиковых нагрузок, как случайных, так и повторяющихся периодически, но в течение менее 5% времени работы, например, в момент захвата заготовки. Указывается также характер приложения нагрузки – односторонний или реверсивный, симметричный или несимметричный.

В дополнение к результатам прочностного расчета зубчатых передач используемая программа выдает исходные данные для расчета валов и подшипников: усилия в зацеплении и частоты вращения каждого из валов для первой ступени циклограммы. Рассчитываются также коэффициенты приведения циклограммы к наибольшему моменту при расчете валов E_v и подшипников E_p , для рассмотренного примера $E_v=0,721$ и $E_p=0,624$.

Комбинированные редукторы главного привода сортопрокатных станов. Сортопрокатные станы предназначены для получения круглых и многогранных прутков, уголка, швеллера и других видов сортового проката. Для обеспечения всестороннего обжатия прокатываемого материала в таких станах рабочие клетки с горизонтальным положением осей рабочих валков должны чередоваться с вертикальными клетями. Привод каждой горизонтальной клетки стана выполняется через трехступенчатый цилиндрический ре-

Таблица 1 – Данные режима прокатки

| Диаметр заготовки, мм | 400 | 400 | 290 |
|-------------------------------------|------|------|-----|
| Параметр режима | | | |
| Угол подачи валков, град | 11 | 9 | 12 |
| Момент прокатки, кН·м | 1300 | 1100 | 850 |
| Момент холостого хода, кН·м | 65 | 65 | 65 |
| Частота вращения заготовки, об/мин | 60 | 60 | 80 |
| Продолжительность цикла прокатки, с | 65 | 65 | 40 |
| Время под нагрузкой (машинное), с | 24 | 27 | 20 |
| Время холостого хода (пауз), с | 41 | 38 | 20 |
| Процент загрузки стана, % | 20 | 20 | 60 |

Таблица 2 – Циклограмма нагружения

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Крутящие моменты на ведущем валу в относит. единицах: | | | | |
| 1,000 | 0,850 | 0,050 | 0,650 | 0,050 |
| Относительные продолжительности действия момента: | | | | |
| 0,074 | 0,083 | 0,243 | 0,243 | 0,300 |
| Частота вращения ведущего вала, об/мин: | | | | |
| 350,0 | 350,0 | 350,0 | 480,0 | 480,0 |

дуктор, совмещенный с шестеренной клетью.

Привод вертикальных рабочих клетей осуществляется через комбинированные коническо-цилиндрические редукторы [5]. Последней ступенью этих редукторов являются полые шестеренные валки, внутри которых размещены соединительные шпиндели. Передаточные числа редукторов уменьшаются от

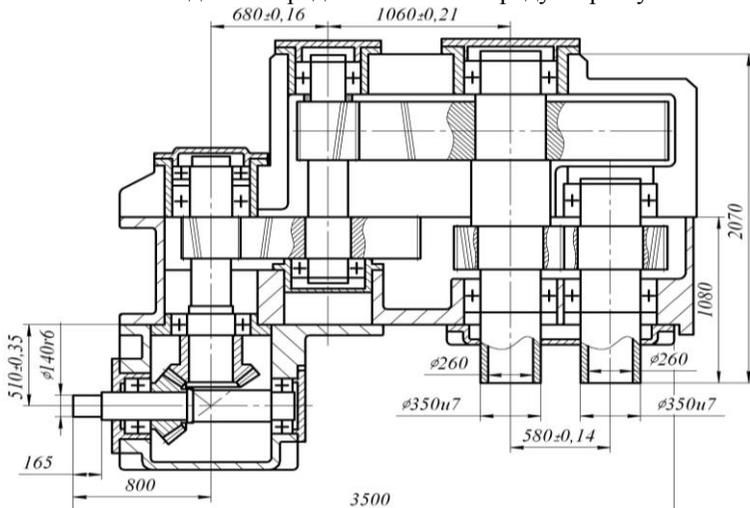


Рисунок 1 – Комбинированный редуктор главного привода сортопрокатного стана

клетки к клетке, обеспечивая увеличение скорости прокатки с учетом коэффициента вытяжки и катающего диаметра рабочих валков. Ведущие валы всех редукторов расположены на одном уровне, что позволяет разместить приводные двигатели на одной общей площадке и упростить их обслуживание.

Для перемещения вертикальной рабочей клетки при настройке и перевалке ее станина должна быть снабжена винтовыми подъемниками с приводом, который обычно выполняется в виде червячных редукторов. В одной из последних конструкций в нижней части корпуса главного редуктора удалось найти зону, свободную от главных передач и разместить в ней один червячный редуктор механизма подъема [9]. Совмещение главного и вспомогательного приводов позволило снизить себестоимость изготовления, значительно упростить обслуживание всей установки и повысить надежность привода.

Для привода горизонтальных бесстанинных рабочих клетей удалось реализовать очень компактное конструктивное решение, в котором шпиндели, приводящие в движение рабочие валки, пропущены сквозь полые шестеренные валки комбинированного редуктора, что позволяет максимально приблизить привод к рабочей клетке и значительно сократить занимаемую площадь цеха [3].

Комбинированные редукторы описанных конструкций были поставлены на таких сортопрокатных станах, как стан 350/250 металлургического завода "Электросталь", стан 450 для Хелуанского меткомбината в Египте, стана 650 Исфганского метзавода в Иране, и целом ряде других.

Шестеренные клетки для производства арматурного проката. Изготовление предварительно напряженного железобетона значительно упроща-

ется, если арматурный профиль выполнен с винтовой канавкой [7].

В процессе прокатки таких профилей вращение валков рабочей клетки должно быть строго синхронизировано, что обеспечивается зацеплением двух цилиндрических зубчатых валков шестеренной клетки. С другой стороны, в процессе настройки клетки рабочие валки необходимо плавно проворачивать один относительно другого, обеспечивая совпадение выполненных на них калибров.

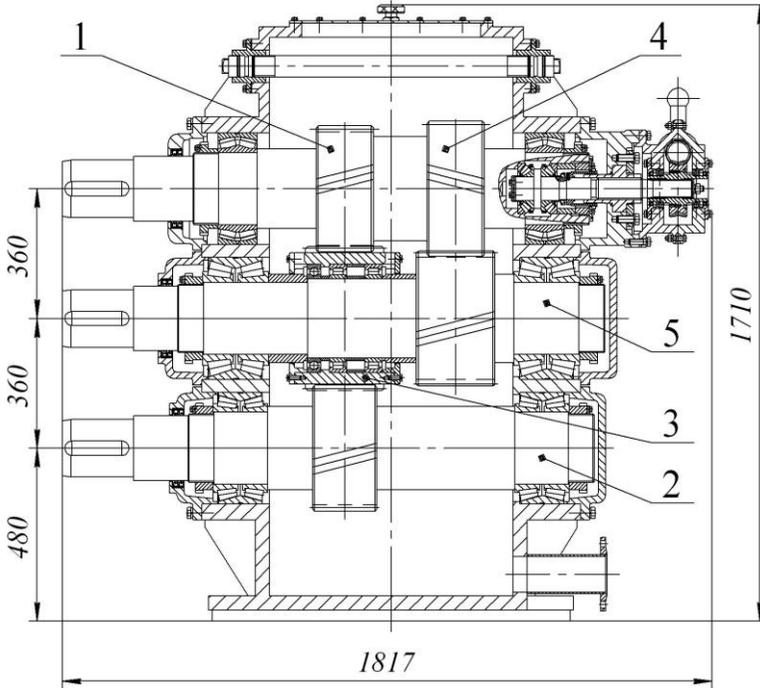


Рисунок 2 – Шестеренная клетка стана 350

Для устранения этого противоречия в конструкции шестеренной клетки предусмотрена возможность осевого смещения входного вала.

На рисунке 2 показана конструкция такой шестеренной клетки. Она содержит одну входную вал-шестерню с двумя разнонаправленными косозубыми венцами и два выходных вала. Косозубый венец 1 входного вала введен в зацепление с венцом нижнего выходного вала 2 через паразитную шестерню 3, а второй полушверон 4 сцеплен с зубчатым венцом среднего выходного вала 5.

При настройке положения калибрующих валков рабочей клетки входную вал-шестерню можно перемещать в осевом направлении с помощью специального механизма, включающего пару "винт-гайка" и червячный редуктор. При таком перемещении один выходной вал проворачивается относительно другого вплоть до совмещения калибров рабочих валков, и в этом положении блок фиксируется.

Предложенное техническое решение было реализовано при проектировании рабочей линии чистой клетки стана 350 Донецкого металлургического завода.

Привод шаропрокатного стана. Шары производятся методом горячей винтовой прокатки между двумя калиброванными валками, которые скрещи-

ваются под небольшим углом и вращаются в одном направлении. Сложность проектирования редуктора для этих станов состоит в необходимости передать большие крутящие моменты при малом расстоянии между выходными валами. Изменение традиционной схемы расположения редуктора по отношению к рабочей клетки позволило в станах последней конструкции уменьшить массу редуктора при сохранении его несущей способности с 23 до 8 тонн [8].

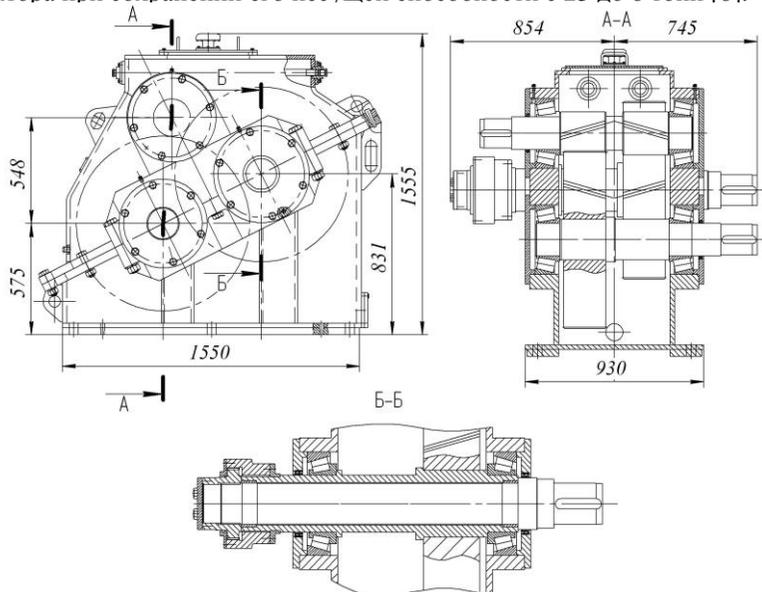


Рисунок 3 – Привод шаропрокатного стана

Для регулировки взаимного положения винтовых калибров рабочих валков в редуктор встроено устройство их относительного разворота [5]. Этот механизм выполнен в виде двухопорного вала, который проходит через полый выходной вал редуктора и соединен с ним зубчатой муфтой. Втулка муфты насажена на один из концов двухопорного вала посредством шлицев. На втором конце этого вала закреплена головка универсального шпинделя, связывающего его с рабочим валком. Числа внутренних шлицев $Z_{Ш}$ и наружных зубьев Z_M втулки не кратны между собой. Это позволяет при настройке калибров разворачивать рабочий валок относительно выходного вала редуктора с точностью до $2\pi/(Z_{Ш}Z_M)$, рад. Тем самым обеспечивается необходимая точность и надежность установки винтовых калибров и, в конечном счете, повышение точности прокатываемых шаров.

Шаропрокатные станы с главным приводом через редукторы такой конструкции были поставлены и успешно эксплуатируются на металлургических заводах в Гурьевске и Бекабаде, в Мексике и в Индии.

Привод редукционно-растяжного стана. Одним из основных требований к конструкции этого привода является возможно более тесное расположение трехвалковых рабочих клеток. Для достижения этой цели отдельные одно- или двухступенчатые передачи расположены в три ряда в едином кор-

пусе главного редуктора. Они обеспечивают вращение 24-х выходных валов с нарастанием числа оборотов по заданному закону. Первый из таких редукторов был подробно описан в статье [1]. Дальнейшее усовершенствование конструкции этого редуктора позволило уменьшить его массу с 88 до 55 тонн.

Последним из этой серии в 2006 году был спроектирован редуктор привода 15-клетьевого стана Днепропетровского трубопрокатного завода. Его конструкция обеспечивает возможность установки с наклоном в 60° к горизонту, что требуется из технологических соображений.

Редуктор главного привода прошивного стана. Двухступенчатый шевронный редуктор ЦД-1600 предназначен для привода каждого из двух рабочих валков прошивного стана. При массе 77 тонн это один из самых крупных редукторов, изготовленных на ЭЗТМ. Но главное его достоинство состоит не в габаритах, а в технической характеристике.

При его проектировании на основе накопленного ранее опыта была выполнена тщательная оптимизация параметров зацепления по контактной и изгибной равнопрочности каждой из ступеней с учетом технологических возможностей закалочного и зуборезного оборудования завода [2]. Предложен и проверен ряд смелых конструкторских и технологических решений, таких как горячая посадка на ступицу окончательно нарезанных полушевронов с предварительным расчетом деформации зубчатых венцов после напрессовки. Благодаря этому впервые в нашей практике удалось спроектировать и изготовить редуктор с номинальным крутящим моментом на тихоходном валу 1000кН·м.

В составе трубопрокатного агрегата "400" два редуктора этого типа были поставлены на Северский трубный завод и успешно эксплуатируются на самых тяжелых режимах прокатки. Регулярный мониторинг состояния редукторов показал, что после кратковременного приработочного износа активных поверхностей зубьев их состояние стабилизировалось, и после более чем 5 лет передачи не требуют замены запасными частями.

Более того, в настоящее время руководство завода приняло решение о модернизации прошивного стана с увеличением мощности электродвигателей с 4000 до 6000кВт. При этом перед ЭЗТМ была поставлена задача, сохранив корпуса имеющихся редукторов, встроить в них передачи, позволяющие увеличить крутящий момент на тихоходном валу до 1300кН·м. Эта задача была решена путем замены материалов и повышения твердости зубчатых колес. В частности, твердость объемно закаленных быстроходных шевронных валшестерен была повышена до 42...47HRC, что потребовало существенного совершенствования технологии их термической и механической обработки.

Редукторы главного привода станов ХПТ. Отличительной особенностью привода станов холодной прокатки труб является быстрое возвратно-поступательное движение массивной клетки, в результате которого в приводе возникают динамические нагрузки, которые сопоставимы (даже с учетом частичного уравновешивания) с рабочей нагрузкой и могут даже значительно превышать ее.

Примерное изменение крутящих моментов, приведенных к выходному валу редуктора, за один двойной ход рабочей клетки представлено на рисунке 4.

На этом графике: α – угол поворота кривошипа, T_q – момент от рабочей нагрузки с учетом сил трения, T_d – момент от сил инерции, T – суммарный крутящий момент. Как видно из рисунка, момент T не только существенно переменен по величине, но в конце рабочего и особенно холостого хода мо-

жет даже менять знак, переводя электродвигатель в генераторный режим.

С учетом этого обстоятельства в приводе таких станов традиционно использовались тяжелые редукторы, зубчатые колеса которых брали бы на себя часть функций маховика. При таком подходе зубчатые передачи изготавливались с объемной закалкой шестерен до твердости 270...300НВ и колес до твердости 240...280НВ.

Так, например, для привода стана ХПТР-350, наиболее крупного из изго-

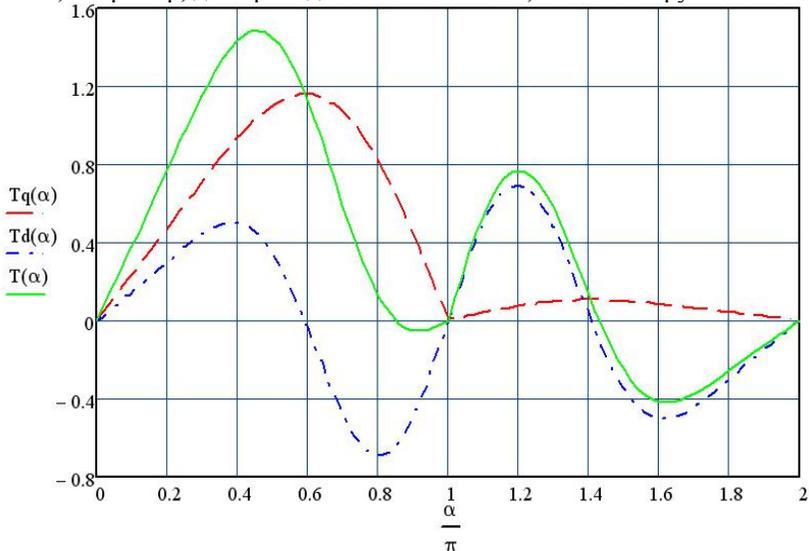


Рисунок 4 – График примерного изменения крутящих моментов в станах ХПТ товленных на ЭЗТМ, необходим крутящий момент на выходном валу редуктора $T=450\text{кН}\cdot\text{м}$. Этот момент вполне может быть обеспечен двухступенчатым редуктором Ц2-1200 с термически улучшенными колесами.

Однако сегодня тяжелые редукторы с такой термообработкой не копируются на мировом рынке. Поэтому, идя навстречу пожеланиям Заказчика, мы спроектировали и поставили в этот стан редуктор Ц2-715 существенно меньшей массы и габаритов с цементированными зубчатыми передачами, шлифованными по 6-й степени точности. Сопоставление некоторых показателей этих редукторов – см. таблицу 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика главного привода стана ХПТ

| Параметр | Типоразмер | |
|---|------------|---------|
| | Ц2-715 | Ц2-1200 |
| Межосевое расстояние т/х ступени, мм | 715 | 1200 |
| Наружный диаметр т/х колеса, мм | 1180 | 1900 |
| Масса т/х колеса, кг | 2000 | 7000 |
| Момент инерции т/х колеса, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | 350 | 2500 |

Стан ХПТР-350 был поставлен в 2007 году для компании TISCO, Китай, и успешно запущен в работу. В настоящее время аналогичный стан изготавливается ЭЗТМ для фирмы WILH.SHULZ GmbH, Германия.

Выводы. Для того чтобы специальные редукторы главного привода прокатных станов различного назначения соответствовали сегодняшнему мировому уровню, при их проектировании необходимо:

- учитывать специфику работы стана и, прежде всего циклограмму нагрузки, как в зависимости от ожидаемой номенклатуры прокатываемых из-

делий, так и внутри цикла прокатки одной заготовки;

- предусмотреть и технологически обеспечить выполнение всех зубчатых передач с высокотвердыми, цементированными и шлифованными зубьями;

- оптимизировать геометрические параметры зубчатых передач по критерию контактной и изгибной равнопрочности, как между ступенями, так и внутри каждой из них.

Список литературы: 1. Ковтушенко А.А., Копылов А.Ф., Лагутин С.А. Редукторы трубопрокатного оборудования // Вестник машиностроения. – 1985. – №10. – С.43-47. 2. Ковтушенко А.А., Лагутин С.А. Опыт оптимизации нормализованных редукторов металлургического оборудования // Тяжелое машиностроение. – 1990. – №5. – С.5-7. 3. Ковтушенко А.А., Лагутин С.А. Шестеренные клетки прокатных станов // Тяжелое машиностроение. – 1998. – №4. – С.19-22. 4. Айрапетов Э.Л. и др. Совершенствование зубчатых муфт и шпинделей конструкции ЭЗТМ // Тяжелое машиностроение. – 2000. – №12. – С.13-15. 5. Ковтушенко А.А. и др. Комбинированные редукторы прокатных станов // Тяжелое машиностроение. – 2005. – №3. – С.13-15. 6. Пат. №1776211 СССР. МКИ В21 В35/12 Шестеренная кость главного привода прокатного стана. (А.А. Ковтушенко и др.). 7. Пат. №2009742 РФ. МКИ В21 В35/12. Стан продольной прокатки профилией периодического сечения. (Б.А. Серман и др.). 8. Пат. №2162025 РФ. МКИ В21 Н1/14. Главная линия стана для прокатки шаров. (А.А. Ковтушенко и др.). 9. Пат. №2163174 РФ. МКИ В21 В13/06. Многооручевая вертикальная кость продольной прокатки. (Б.А. Серман и др.).

Поступила в редколлегию 25.03.2013

УДК 621.833.38

Редукторы главного привода прокатных станов / В.В. Бедняков, С.А. Лагутин, Е.А. Гудов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №40(1013). – С.17-25. – Бібліогр.: 9 назв.

Узагальнено досвід Електростальського заводу важкого машинобудування в галузі проектування і виробництва спеціальних редукторів і шестерінчастих клітей головного приводу прокатних станів різного призначення: сортових та шаропркатних, прошивних та редукційних, станів холодної прокатки труб та станів для виробництва арматурного прокату. При їх проектуванні враховується специфіка роботи стану і перш за все циклограма навантажень в залежності як від номенклатури прокатуваних виробів, так і циклу прокатки однієї заготовки. Геометричні параметри зубчатих передач оптимізуються за критерієм контактної та згинальної рівномірності, як між ступенями, так і в кожній з них. Передбачено та технологічно забезпечено виконання зубчатих передач з високоміцними, цементованими та шлифованими зубами.

Ключові слова: редуктор, шестерінчаста кліть, прокатний стан, циклограма навантажень.

The experience of the Electrosteel Heavy Machinery Plant in the design and production of special gearboxes and gear stands for main drive of various rolling mills is summed up. The specifics of rolling and ball-rolling, piercing and reduction mills, mills for cold rolling tube and for the production of reinforcing bars are considered. The load sequence diagram depends both on the range of rolled products, and variable loadings in a rolling cycle of a workpiece. Geometric parameters of gears are optimized by contact and bending equal strength, as between the stages as within each of them. Carburizing, hardening and grinding of teeth are provided and secured technologically.

Keywords: reducer, gear stand, rolling mill, load sequence diagram.

УДК 62-23+519.863

О.В. БОНДАРЕНКО, к.т.н., старший викладач каф. ТММ і САПР НТУ "ХПІ";
О.В. УСТИНЕНКО, к.т.н., доц., старший науковий співробітник каф. ТММ і САПР;
В.І. СЕРИКОВ, к.т.н., доц., старший науковий співробітник каф. ТММ і САПР

ПРОЕКТУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДВОСТУПІНЧАСТИХ РЕДУКТОРІВ З РАЦІОНАЛЬНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Розглянута задача проектування зубчастих циліндричних двоступінчастих редукторів. Надана постановка задачі та вказані параметри проектування. Записані критерій та обмеження на параметри

© О.В. Бондаренко, О.В. Устиненко, В.І. Сериков, 2013