

ПЛАНЕТАРНЫЙ КОСОВАЛКОВЫЙ СТАН КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Жукова Н.В. ✓

Донецкий национальный технический университет

Литвинов В.И.

ЗАО «Макеевский металлургический завод»

Шепель В.М.

ЗАО «ММЗ «Истил (Украина)»»

Abstract

Zhukova N.V., Litvinov V.I., Shepel V.M. Planetary cross-rolling mill as plant of automation. The necessity of development of unique technique of continuous rolling for group composed from planetary-screw closet with a major extract for one pass and closets of horizontal and vertical longitudinal rolling represented. The primal problems of automation of this technological process.

Общая постановка проблемы. Планетарный косовалковый стан (ПКС) - агрегат с высокой степенью деформации металла для производства круглого проката и бесшовных труб. ПКС является первым непрерывно работающим агрегатом со степенью деформации, превышающей 90%, в котором уменьшение поперечного сечения материала осуществляется только тремя валками за один проход (рис.1). В непрерывном режиме работы в одном единственном пропуске с помощью только трёх валков достигается такой же коэффициент вытяжки, как, например, на восьми клетевом стане непрерывной прокатки.

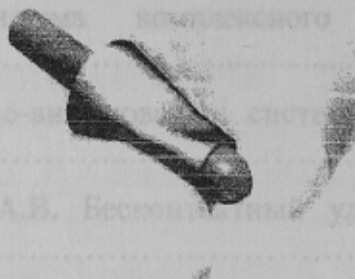
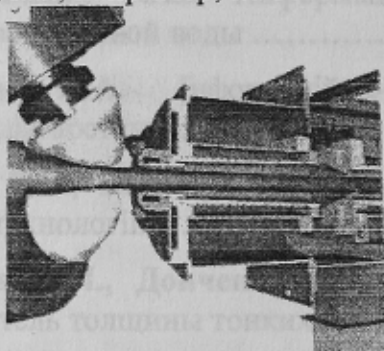


Рисунок 1 – Планетарный косовалковый стан. Очаг деформации

В планетарной клетке обжимаемый металл не вращается, поэтому ПКС используется в совместной технологии непрерывного литья круглых или восьмигранных заготовок и их прокатки с вытяжкой более 10-ти единиц с соответствующей экономией энергии в виду отсутствия необходимости дополнительного нагрева металла в газовых печах. По той же причине планетарная винтовая прокатка может работать непрерывно в потоке с редуцирующими клетями линейной прокатки, где металл принимает форму и качество конечного продукта. Он может использоваться в качестве черновой линии на мелкосортном или проволочном прокатном стане, как заготовочный стан или для раскатки непрерывно литых толстостенных гильз в трубы. С переходом на технологию ПКС уходит много проблем по необходимости согласования непрерывно работающих черновых клетей продольной прокатки, повышается безаварийность работы оборудования, сокращаются производственные площади, финансовые и энергозатраты, экономятся людские ресурсы при параллельном повышении качества продукции.

Принцип работы ПКС. Редуцирование поперечного сечения материала достигается на ПКС следующим образом: три конусообразных валка, расположенных по отношению друг к

другу под углом 120° , обжимают металл таким образом, что между их поверхностями образуется конусообразная зона деформации. Благодаря скрещенному положению осей валков по отношению к оси прокатки и их вращению, создаётся усилие подачи, направляющее металл через зону деформации.

Валки приводятся в действие от главного двигателя посредством планетарной передачи (рис.2). Оси валков могут поворачиваться вокруг осей планетарных шестерён или осей барабанов, в которых установлены валки, с целью образования необходимого кратчайшего расстояния между осями прокатки и валков, что обеспечивает соответствующее усилие подачи материала вдоль оси прокатки. Второй двигатель, как дополнительный привод, приводит солнечное колесо планетарной передачи. Этот двигатель служит для предотвращения вращения проката, которое возникает за счёт поперечного движения металла, скомпенсированное вращением корпуса клетки [1].

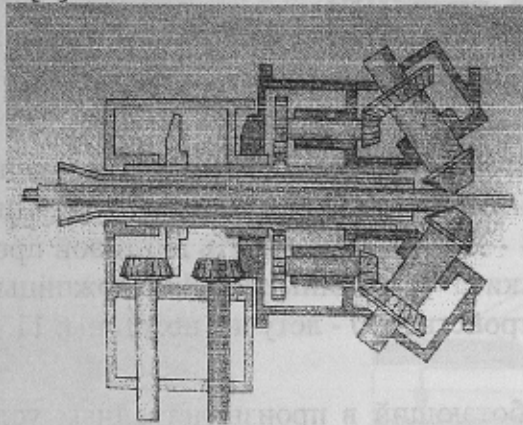


Рисунок 2 – Схема конструкции ПКС

Выходное поперечное сечение материала может бесступенчато выбираться без изменений калибровки прокатных валков путём их передвижения вдоль своих осей. При значительном изменении выходного диаметра или при износе валков, они заменяются при помощи переалочного устройства.

Метод планетарного обращения инструмента вокруг оси прокатки по сравнению с известным способом поперечно - винтовой деформации материала, то есть обеспечение вращения валков вокруг не вращающегося металла и достижение вследствие этого непрерывного режима работы на предыдущих и последующих агрегатах, является особой характерной чертой в технологии ПКС.

Очень большой угол между прокатом и осью валков (45°) гарантирует следующее:

- Прокат во время процесса деформации не перекручивается. Это необходимо для значительного уменьшения поперечного сечения металла и, особенно, для прокатки тонкостенных труб.

- Возможна установка большого кратчайшего расстояния между осями прокатки и валка, что эквивалентно установке большого угла подачи $20...30^{\circ}$ по сравнению с обычными станами поперечно - винтовой прокатки, работающими с углами подачи до 15° . Вследствие этого степень деформации материала в процессе винтовой прокатки увеличивается, что значительно отличает новую технологию.

Прокатка на ПКС обеспечивает глубокую проработку металла с уплотнением его сердцевины. Поэтому, несмотря на высокие степени деформации материала, на ПКС может производиться готовый прокат с безупречным качеством. При этом используется не только бездефектный черновой материал, но и исходный подкат с большими внутренними дефектами, при интенсивном обжатии которого получается равномерно деформированная готовая продукция с отличным качеством и правильной геометрией раската.

Обзор существующих технологий. Специалистами ВНИИМЕТМАШа разработан литейно-прокатный модуль (ЛПМ) с криволинейной машиной непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и прокатным станом, имеющим в своем составе клети поперечно-винтовой прокатки [2, 3, 4] в качестве обжимной с вытяжкой не более 8 единиц (рис.3).

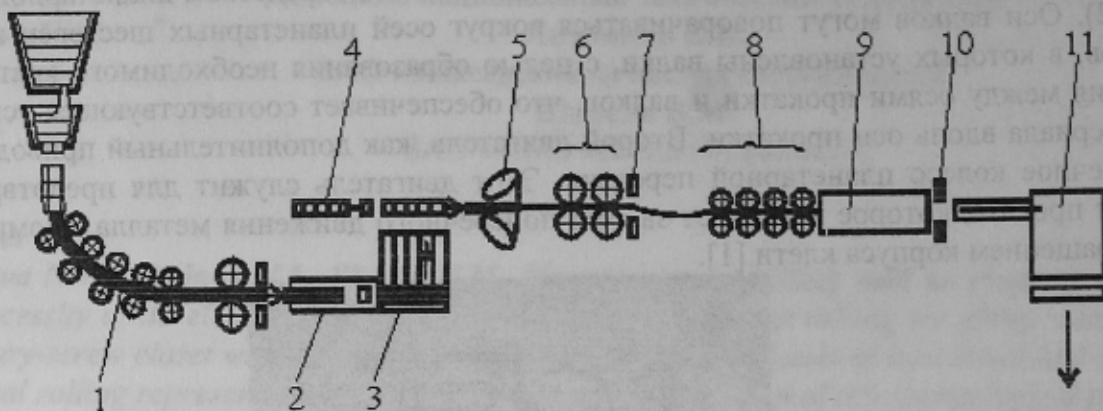


Рисунок 3 – Литейно-прокатный агрегат с совмещенной винтовой и продольной прокаткой конструкции ВНИИМЕТМАШ: 1 - МНЛЗ; 2 - индукционный подогреватель; 3 - загрузочная решетка; 4 - толкатель; 5 - клети винтовой прокатки; 6 - черновая группа клетей продольной прокатки; 7 - аварийные летучие ножницы; 8 - чистовая группа клетей; 9 - термоупрочняющее устройство; 10 - летучие ножницы; 11 - холодильник.

Первый ПКС, работающий в производственных условиях, эксплуатировался с 1975 года на фирме Huettenwerke AG (Германия) [1]. Он работает как черновая линия мелкосортного прокатного стана. Заготовка диаметром 120 мм обжимается за один проход до диаметра 35 мм, при этом получают коэффициенты вытяжки около 12-ти единиц. Кроме того, винтовые клети в планетарном исполнении, разработанные фирмой SMS (Германия), позволили реализовать уникальную технологию непрерывной прокатки в группе, состоящей из клети винтовой и продольной прокатки, что отмечается в [5] (рис.4).

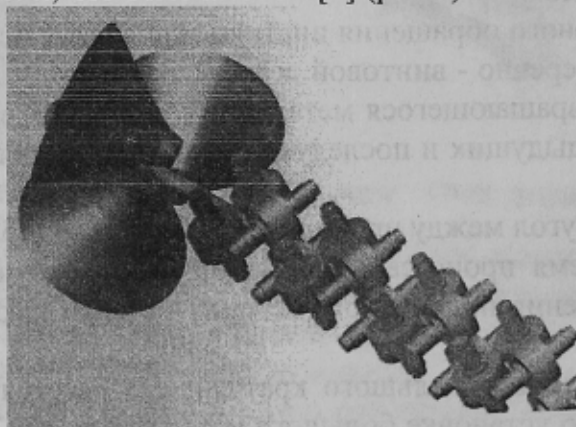


Рисунок 4 – Схема непрерывной группы клетей в составе планетарной винтовой и клетей продольной прокатки

Путем постоянного усовершенствования и использования опыта, находящихся в эксплуатации ПКС, была расширена область применения планетарных винтовых клетей при изготовлении бесшовных труб SMS (Германия) [1]. Первые принципиальные эксперименты в 1974 году показали, что толстостенные гильзы могут быть раскатаны в трубы. После этого, с 1977 по 1979 год был проведен ряд систематических опытов с прокаткой трубных заготовок. На рис. 5 показано изображение непрерывной линии для производства труб с ПКС.

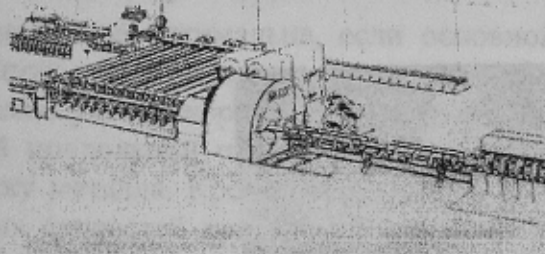


Рисунок 5 – ПКС, чертеж общего вида

Круглая сплошная заготовка из печи поступает в прошивной трубопрокатный стан (рис. 6а). Далее полученная гильза направляется в непрерывную группу клеток, состоящей из планетарной винтовой трехвалковой клетки, где она деформируется с вытяжкой 14 (рис. 6аб) и калибровочный или редуционный стан продольной прокатки, где раскатывается в готовую трубу с окончательным диаметром и необходимой толщиной стенок (рис.6а).

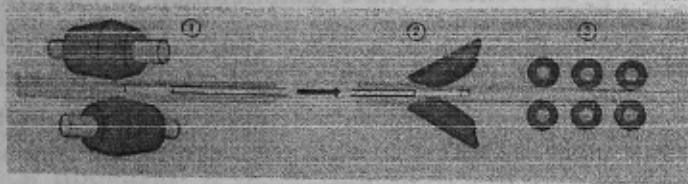


Рисунок 6а – Схема установки для изготовления труб с ПКС (1 - прошивной трубопрокатный стан; 2 – ПКС; 3 – редуционный стан)

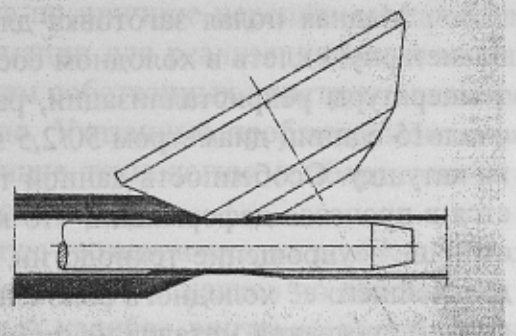


Рисунок 6б – ПКС, прокатка труб, зона деформации

При решении проблемы маломасштабного производства наблюдается тенденция сооружения мини-заводов для производства медных труб. Лидирующей в данном направлении является компания Outokumpu (Финляндия) [6]. Был разработан новый метод производства “Cast and Roll”(рис.7).

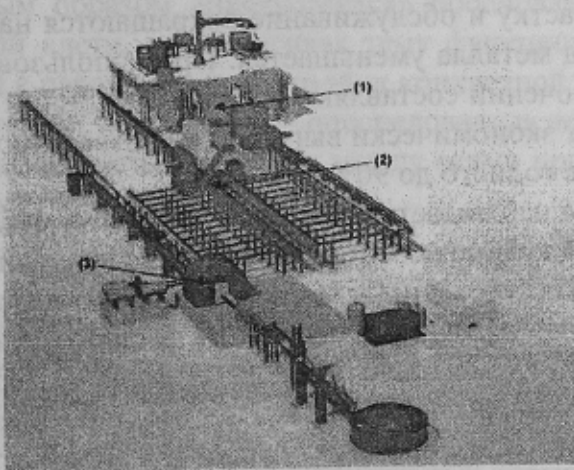


Рисунок 7а – Общий вид технологического процесса Cast and Roll (1 - непрерывное литье полой заготовки, 2 – обработка поверхности заготовки, 3 – планетарная винтовая прокатка)

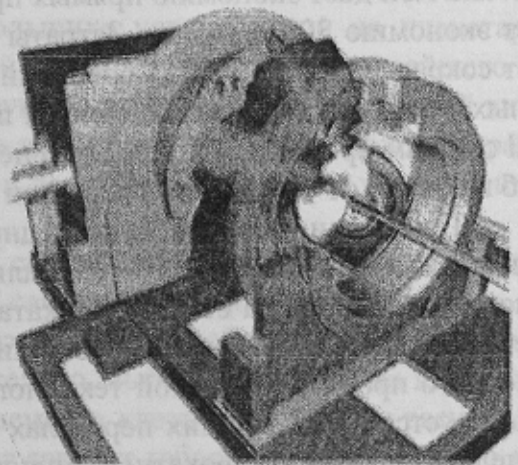


Рисунок 7б – Планетарная винтовая клеть

Этот метод основан на непрерывном многоручьевом литье (рис.8а) и последующей винтовой прокатке полой заготовки на планетарной винтовой клети (рис.8б).



Рисунок 8а – Непрерывное литье

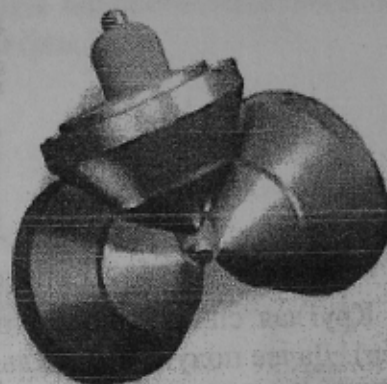


Рисунок 8б – Валки и очаг деформации в планетарной клети

Медная полая заготовка длиной 15 м и диаметром 100/25 мм задаётся в винтовую планетарную клеть в холодном состоянии. При интенсивной деформации она, нагреваясь до температуры рекристаллизации, раскатывается в трубу за один проход с вытяжкой равной около 15 единиц диаметром 50/2,5 мм и длиной трубы более 200м с дальнейшей её намоткой на катушку. Особенность данной технологии заключается в том, что материал не скручивается в процессе деформации, что крайне важно для получения тонкостенных труб. Главное отличие – упрощение технологии ПКС по отношению к прессованию горячей заготовки и дальнейшего её холодного волочения на намоточных блоках с плавающей оправкой или холодной прокаткой металла на пилигримовом стане, где ресурс пластичности материала ограничен по мере его упрочнения, что требует дальнейшей термической обработки для последующих операций, расширяющих сортамент продукции.

Первый промышленный агрегат такого типа пущен в 1992 г. в Южной Корее, второй – в 1994 г. в г. Жонгшан (Китай, провинция Хеньян). Качество труб, полученных волочением из заготовки Cast and Roll, лучше, чем у труб, полученных горячим прессованием и холодной прокаткой [6]. Улучшение качества связано с мелкозернистой структурой металла и меньшей поперечной разностенностью трубы. Кроме меньших начальных капиталовложений метод Cast and Roll дает экономию прямых производственных затрат. Отсутствие нагрева заготовок дает экономию 30% энергии. Затраты на оснастку и обслуживание сокращаются на 50%. За счет сокращения количества операций расход металла уменьшается. При использовании тяжелых бухт технологические отходы при волочении составляют всего 5-6%. Линии Cast and Roll с одним прокатным станом обеспечивают экономически выгодное производство медных труб в объеме от 7 до 30 тыс. т/год при выходе годного до 90% и более.

Тенденции развития. В последние годы наблюдается тенденция развития металлургических мини-заводов, на которых реализуются крайне необходимые энергосберегающие технологии производства стали и проката. Энергосбережение в металлургии заключается в совмещении процессов непрерывного литья и непрерывной прокатки от жидкого металла до конечного проката. В данной технологической схеме тепло жидкого металла не теряется, а используется в дальнейших переделах после непрерывного литья. Поэтому, проектирование и внедрение литейно-прокатных модулей в настоящее время актуально [7]. Чем быстрее металл доходит от жидкого состояния до конечного проката, тем лучше экономические показатели энергоемкого металлургического производства. Таким образом, экономия энергии становится самым важным фактором любого металлургического производства. Главная задача современной металлургической технологии это совмещение двух непрерывных переделов: непрерывного литья и непрерывной прокатки с наименьшим количеством операций по переделу металла, которые могут не вписываться в общую непрерывную технологическую нитку.

Т.е. технологический цикл движения металла по переделам уменьшается от нескольких недель до нескольких часов [5].

Непрерывная прокатка наиболее оптимальна, если основной обжим металла будет осуществляться в прокатных клетях, где максимальная его вытяжка происходит за один проход в одной клети. Этому условию удовлетворяет планетарный винтовой стан, который заменяет восемь – десять клетей продольной прокатки и позволяет непрерывно стыковать дальнейшую чистовую обработку металла. Кроме того, ПКС можно использовать в новом качестве при совмещении малых скоростей непрерывной разливки жидкого металла (2-3,5 м/мин) с непрерывной прокаткой. Как показывает практика, клети продольной прокатки в этом качестве использовать нельзя. В клети винтовой прокатки можно сделать так, чтобы инструмент двигался вокруг металла быстрее, чем металл перемещался продольно. Поэтому использование ПКС в данном качестве необходимо изучать, разрабатывать оборудование и использовать в стыковке непрерывных технологий. Дополнительно данное оборудование отвечает требованию минимальной производственной площади для мини-завода.

Постановка задач исследования. Планетарная винтовая прокатка – наукоёмкая технология, которая до сих пор на Украине не реализована по причине нерешённых проблем, связанных с отсутствием на Украине первичной информации для реализации технического проекта планетарной винтовой клети, а также отсутствием собственных конструктивных решений оборудования, реализующего данную технологию. Указанные проблемы можно решить собственными силами, не приобретая дорогостоящие технологии и оборудование в странах Евросоюза. Основные решаемые вопросы следующие.

В первую очередь необходимо описать обобщённую геометрическую задачу для косо расположенных и аксиально - симметрично ориентированных трёх валков по отношению к оси прокатки и образующих так называемый «замкнутый калибр» винтовой клети. Задача решается обобщённым методом [8] на основе характерных геометрических параметров винтовой прокатки – кратчайшего расстояния между осями прокатки и валка и угла скрещивания между этими осями. Эта информация настолько важна, что во многих рекламных проспектах ведущих в этой области Европейских фирм изображают три валка, оси которых пересекаются с осью прокатки (рис. 8б), а в этом случае процесс винтовой прокатки невозможен. Подобным же образом представляется схема конструкции планетарной винтовой клети, где отсутствуют главные элементы, реализующие угол подачи валков (рис. 2), благодаря которым и устанавливается кратчайшее расстояние между осями прокатки и валка. Также непонятным образом «навязывается» обоснование «больших» углов подачи на планетарной винтовой клети, не затрагивая тему функциональной связи упомянутого кратчайшего расстояния с параметрами настройки конкретной конструкции клети. А для планетарной винтовой прокатки угол подачи – опосредованная величина для реализации характерного параметра – кратчайшего расстояния между осями прокатки и валка при выбранном угле скрещивания между этими осями.

Следующий главный вопрос; разработка ПКС связана с выбором оптимальных параметров винтовой прокатки, которые функционально связаны с профилировкой валков, они должны быть максимальны и иметь минимальные зазоры между собой; то есть валки образуют «замкнутый калибр» винтовой клети. Дополнительно, выбор оптимальных параметров функционально связан с диаметром заготовки, задаваемой в клеть и диаметром раската, выходящего из клети. От размеров указанных диаметров зависят габариты всей клети. То есть, геометрия клети, выбор её оптимальных характерных параметров, функционально связанных с параметрами настройки клети, полностью определяют первичное обоснование конструкции ПКС, предназначенного для обжатия металла от исходного до конечного его размера. В этом и заключается основная сложность начала проекта. Обычное 2-D проектирование здесь не поможет. Только 3-D модель ПКС (рис.9) с параллельными расчётами геометрии

очага деформации, максимальных валков его образующих, дают ключ к стратегии всего проекта этого сложного, но необходимого объекта, повышающего уровень прокатного передела.

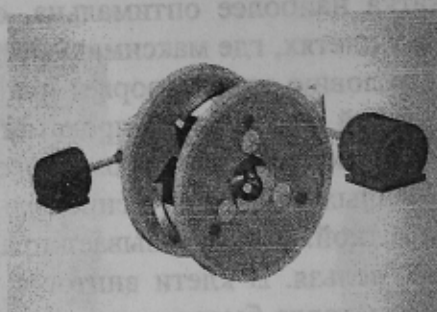


Рисунок 9 – Общий вид 3-D модели ПКС с электроприводом

Устойчивость кинематики и динамики технологии планетарной винтовой прокатки обеспечивается согласованным движением валков и корпуса клетки, которые связаны через деформируемый металл и трансмиссию с двумя электродвигателями, система управления которых направлена на обеспечение заданного обжима металла с большой вытяжкой и параллельной компенсацией его вращения. Понятно, что несущие элементы конструкции клетки должны с запасом выдерживать динамические нагрузки, приложенные к валкам. Поэтому, крайне важна информация о поверхности контакта между металлом и валком, благодаря которой оценивается сила и момент прокатки, функционально связанные с характерными геометрическими параметрами винтовой клетки и пластическими свойствами металла, а также с энергосиловыми параметрами электропривода оборудования. Без 3-D модели построения в AUTO-CAD модели «реального» очага деформации и её стыковки со сложными геометрическими расчётами системы «металл-валок» эту задачу не решить. Спроецировав соответствующим образом силу и момент прокатки, выбираются размеры сечений силовых деталей валкового и корпусного механизма винтовой клетки, а также элементов внутренней и внешней механической передачи оборудования.

Особенного внимания требует система управления сложными механизмами с двумя электроприводами, связанными одним рабочим телом, металлом, который деформируется с глубокой вытяжкой и при этом рабочее тело не должно вращаться вокруг оси прокатки, чем обеспечивается непрерывность технологического процесса с предыдущими и последующими переделами металла. В связи с тем, что аксиальное (поперечное) движение металла не выявить с помощью какого-либо датчика перемещения, так как рабочее тело, которое деформируется в клетке, физическим образом пролонгировано, как вперёд так и назад к другим технологическим переделам, то здесь какие-либо регуляторы скорости валкового и корпусного механизмов клетки не помогут в решении согласования движения связанного с ними электропривода с двумя силовыми электродвигателями. Единственным критерием здесь может быть минимум затраты энергии на технологические операции деформации металла при обеспечении заданного продольного движения рабочего тела. Поэтому локальные электроприводы должны управляться по мощностям [9] при минимальной их сумме с оптимальным распределением энергии на два электропривода. Здесь необходимо моделирование этого малоинформативного процесса с помощью MATLAB. В модели должна быть информация по силе и моменте прокатки, соответствующим образом спроецированные на валковую и корпусную механические передачи с возникновением момента силы реакции металла при его возможном скручивании, которое может появиться при несогласованном движении двух электроприводов валков и корпуса клетки. То есть система управления должна автоматическим образом быстро реагировать на «лишние» затраты энергии на дополнительную деформацию скручивания металла при заданном продольном его продвижении вдоль оси прокатки.

Таким образом, комплекс задач достаточно широк, и все его составляющие необходимы и опустить что-либо из вышеназванного невозможно. То есть, здесь равноценны как

геометрия рассматриваемой планетарной винтовой клетки, так и кинематика и динамика технологии обжатия металла. Объект ПКС един в своём управлении и требует наукоёмкого описания при его проектировании.

Выводы.

1. Современные тенденции развития энергосберегающих металлургических технологий для мини-заводов прокатного и трубного производств, требуют применения новых экономичных, высокопроизводительных методов непрерывного литья и агрегатов высокоомощной деформации при построении литейно-прокатных модулей.

2. Необходимо развитие уникальной технологии непрерывной прокатки в группе, состоящей из планетарно-винтовой клетки с большой вытяжкой за один проход и клетей продольной прокатки горизонтального и вертикального исполнения.

3. Планетарный косовалковый стан используется лидирующими компаниями SMS (Германия) и Outokumpu (Финляндия) в технологии «Cast and Roll» при производстве бесшовных медных труб. Применение планетарной винтовой клетки позволяет экономить производственные затраты, требует на 30% меньше энергии из-за отсутствия предварительного нагрева заготовок, сокращает затраты на оснастку и обслуживание оборудования, а самое главное упрощает технологию, заменяя восьми, десяти клетевой обжимной стан.

4. Для внедрения современного прокатного оборудования высокоомощной деформации и системы управления планетарным винтовым станом, который состыкован с предыдущим и последующим переделами металла, необходимо решить широкий спектр задач. Первоочередной задачей является разработка технического проекта по построению планетарной винтовой клетки с помощью САПР и моделирование системы управления непрерывным объектом по критерию минимума энергозатрат на совершение технологических операций.

Литература

1. Э. Бретшнейдер Планетарно-косовалковый стан – агрегат высокоомощной деформации для производства круглого материала и бесшовных труб. /СМС Шлоеманн – Зимаг Акциенгезельшафт, Германия: <http://www.sms-meer.com>
2. Сивак Б.А., Ротов И.С. Литейно-прокатные агрегаты для металлургических мини-заводов // Ин-т "Черметинформация". - Бюл. "Черная металлургия". - 2001. - №3. – С.7-15.
3. Сапожников А.Я., Кривенцов А.М., Милютин С.П. Мини-комплекс для производства мелкого сорта на основе совмещения винтовой и продольной прокатки // Труды третьего конгресса прокатчиков. - М.: АО "Черметинформация". - 2000. – С.314 - 315.
4. Сапожников А.Я. Мелкосортные станы конструкции ВНИИМЕТМАШ для мини-заводов // Сталь. - 1999. - №6. – С.61 - 62.
5. Н.А. Целиков Перспективы развития металлургических мини - заводов в России // «Сталь», №6. 1999. – С.58 - 59.
6. M. Rantanen, H. Knaapi Cast and Roll – advanced copper tube technology / «Цветные металлы», №10 1996. – С.26 - 28.
7. В.М. Паршин Сооружение литейно-прокатных комплексов – решение проблемы производства конкурентно способной продукции // «Сталь», №6. 1999. – С.26-28.
8. Проектирование профилировок валков клетей винтовой прокатки / Ф.Е. Долженков, А.Ю. Литвиненко, В.И. Литвинов и др.- К.: Техника, 1992. – 135 с.
9. Декларацийний патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68. Спосіб управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском: Декларацийний патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68 /Титиевский В.М., Литвинов В.И., Горовой А.Б., Жукова Н.В., Рыпало Д.А., Подгорный И.В.; ВАТ «Завод «Універсальне обладнання». - № 99126860; Заявл. 16.12.99; Опубл. 16.04.01, Бюл. №3. – 5 с.