

BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 1991-3494

Volume 2, Number 360 (2016), 5 – 16

**MODELING OF HARDNESS OF MULTIFUNCTIONAL LONGITUDINAL
WEDGE MILL TO IMPROVE THE ACCURACY OF THIN STRIPS FROM
METALS AND ALLOYS**

S.A. Mashekov¹, B.N. Absadykov², M.L. Rakhmatulin¹,
M.E. Isametova¹, E.Z. Nugman¹, A.S. Mashekova¹

¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty, Republic of Kazakhstan,

² Kazakh-British Technical University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Mashekov.1957@mail.ru, b_absadykov@mail.ru

Abstract. This paper proposes a new multifunctional mill of new design. The main technical characteristics of multifunctional longitudinal wedge mill is to reduce the diameter of the work rolls in the rolling direction and the rotation of the work rolls through the bearing cage with five gearmotors 15 kW, as well as the installation of the first three stands of the two, and in the last two stands of four support rollers. Technical characteristics of the projected multifunctional longitudinal wedge mill can produce hot-rolled and cold-rolled thin strips of steel and alloys, copper strips of thickness less than 1 mm, titanium and aluminum sheets of thickness 2 - 0,5 mm, silver strips of thickness less than 2 mm, rolled precious metals etc. With the help of the software product of finite element analysis to calculate the metal forming processes with MSC.visualNastran 4D pressure it is calculated stress-strain state of heavily loaded components of the proposed mill. It is proved that in the rolling mill the new values of elastic deformation and movement of the roll elements are not big. Conducted research also proved sufficiently high hardness of rolls unit of working stand, and emerging in heavily loaded elements equivalent voltage do not exceed the maximum allowed for the material value of the ultimate strength.

Keywords: multifunctional mill, rolling, working roll, backup roll, working stand.

УДК: 621.771.25/26:669.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОГО СТАНА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ ТОНКИХ ПОЛОС ИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

С.А. Машеков¹, Б.Н. Абсadyков², М.Л. Рахматулин¹,
М.Е. Исаметова¹, Е.З. Нугман¹, А.С. Машекова¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан

²Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Ключевые слова: многофункциональный стан, прокатка, рабочий валок, опорный валок, рабочая клеть.

Аннотация. В статье предложен многофункциональный стан новой конструкции. Основной технической характеристикой многофункционального продольно-клинового стана является уменьшение диаметра рабочих валков в направлении прокатки и вращение рабочих валков через подшипниковые клетки

пятью мотор-редукторами мощностью 15 кВт, а также установка в первых трех клетях двух, и в последних двух клетях четырех опорных валков. Технические характеристики проектируемого многофункционального продольно-клинового стана позволяют производить горячекатаные и холоднокатаные тонкие полосы из сталей и сплавов, медные полосы толщиной менее 1 мм, титановые и алюминиевые листы толщиной 2 – 0,5 мм, серебряные полосы толщиной менее 2 мм, прокат из драгоценных металлов и т.д. С помощью программного продукта конечно-элементного анализа специализированных для расчета процессов обработки металлов давлением MSC.visualNastran 4D рассчитано напряженно-деформированное состояние тяжело нагруженных элементов предлагаемого стана. Доказано, что при прокатке в новом стане величины упругой деформации и перемещения элементов валков невелики. Проведенным исследованием так же доказана достаточно высокая жесткость узла валков рабочей клетки, и возникающие в тяжело нагруженных элементах эквивалентные напряжения не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности.

Введение

В настоящее время ювелирная, электротехническая и другие отрасли промышленности Республики Казахстан нуждаются в выпуске медных полос толщиной менее 1 мм, алюминиевых листов толщиной 2 – 0,5 мм, полос из драгоценных металлов толщиной менее 2 мм [1].

В малых предприятиях, где прокатывают цветные металлы, в том числе благородные и драгоценные металлы, в большинстве случаев используют низкие по производительности специализированные станы листовой прокатки [2]. Условия реализации листовой прокатки характеризуются наличием различных конструктивных схем исполнения рабочей клетки, характеризующихся максимальной конструктивной простотой и являющихся эффективными при большом сортаменте продукции. При этом наиболее часто при прокатке цветных материалов применяют клетки дуо или кварто.

Однако из-за отсутствия опорных валков в клетях дуо или подпора рабочих валков вдоль оси прокатки в клетях кварто происходит изгиб валков, что отрицательно влияет на качество готовой продукции.

Наиболее простым способом повышения качества металлопроката является уменьшение диаметров рабочих валков, что ведет к снижению силы прокатки и, тем самым, благоприятно сказывается на конечном продукте [2]. Однако, во многих случаях уменьшение диаметров рабочих валков невозможно или ограничено вследствие конструктивных особенностей станины прокатного стана, а также тем, что при уменьшении диаметра валков увеличивается прогиб валка и уменьшается прочность валкового узла. Данные недостатки можно устранить, используя опорные валки большого диаметра, многовалковые станы, а также путем организации привода на опорные валки.

Многовалковые станы позволяют вести прокатку в валках малого диаметра [3]. К числу недостатков многовалковых станов обычного типа относится сложность конструкции рабочих клеток.

На основе вышесказанного можно сделать заключение, что в настоящее время очень остро стоит вопрос развития станов холодной и горячей прокатки, позволяющих производить листовой прокат высокого качества.

Цель работы: Расчет, конструирование и изготовление новой конструкции многофункционального стана для прокатки тонких листов высокого качества.

Оборудование и методы исследования

С целью получения качественных листов, а также уменьшения энергосиловых параметров, нами предлагается продольно-клиновой стан новой конструкции для прокатки холоднокатаных тонких полос из сталей и сплавов (рисунок 1) [4].

Продольно-клиновой стан для прокатки листов из сталей и сплавов содержит электродвигатели, редукторы, шестеренные клетки, универсальные шпиндели, муфты, клетки с рабочими и опорными валками. При этом в первых трех клетях установлены два, а в последних двух клетях четыре опорных валка. Вращение рабочих валков, уменьшающихся в направлении прокатки, осуществляется через подшипниковые клетки пятью мотор-редукторами с угловой скоростью $\omega = v \cdot R$ (где v – скорость прокатки в каждой клетке стана; R – радиус рабочих валков в каждой клетке стана). При этом расстояния между клетями увеличены на величину опережения, а

регулировку расстояния между рабочими валками производят едиными червячными нажимными механизмами, расположенными сверху и снизу станин стана и подшипниковых клетей.

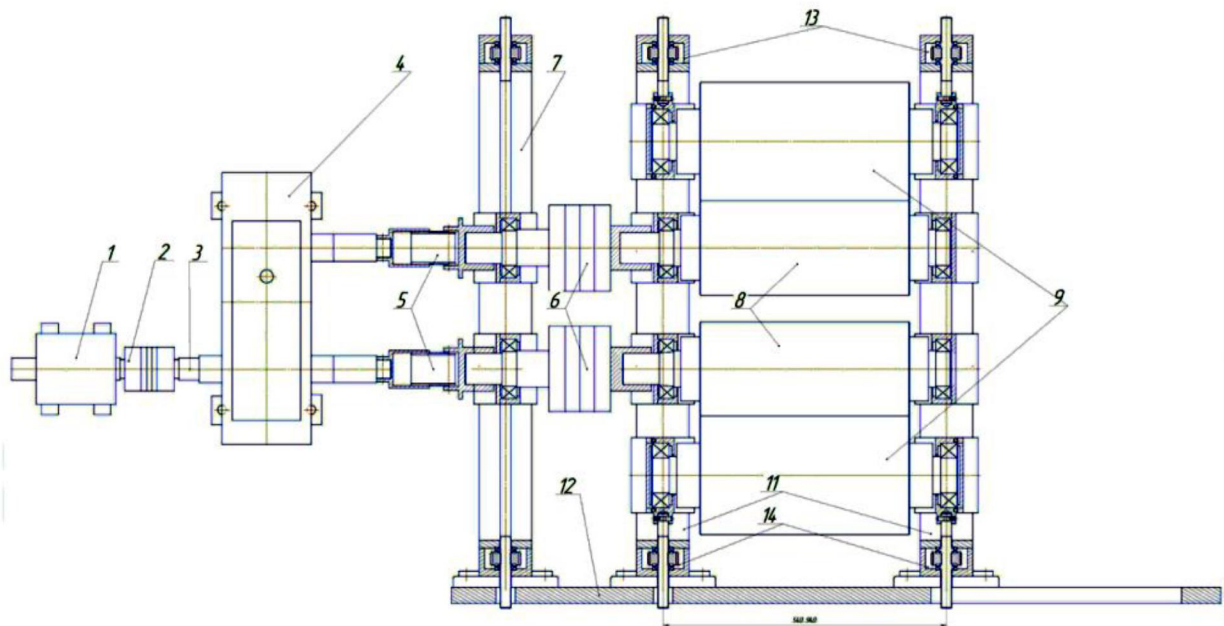


Рисунок 1 – Продольно-клиновой стан для прокатки листов:
 1 - мотор-редуктор; 2 - муфта; 3 - вал; 4 - шестеренная клеть; 5 и 6 - шпиндели; 7 - подшипниковая клеть;
 8 - рабочие валки; 9 (первые три клетки) и 10 (последние две клетки, не показаны) - опорные валки;
 11 - станина; 12 - опорные плиты; 13 и 14 - нажимные механизмы

Рабочая клеть предлагаемого прокатного стана представляет собой многокомпонентную машину, включающую вращающиеся прокатные валки, подшипники, станину, установочные механизмы валков, устройства крепления и другие узлы и детали. Конструирование такой машины является весьма сложным и трудоемким процессом, требующим проведения большого объема расчетных и графических работ.

Учитывая вышесказанное, методику компьютерного расчета реализовали с использованием программы конечно-элементного анализа MSCNastran [5]. Интегрированная система компьютерного моделирования MSCNastran позволяет исследовать кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного состояния, как отдельных звеньев, так и механизма в целом.

Исходными данными для расчета являются твердотельная геометрическая модель конструкции стана, силы и условия закрепления, приложенные к ним, а также условия сопряжения кинематических пар конструкции клетей.

При конструировании рабочих клетей в среде MSCNastran нами был осуществлен следующий пошаговый алгоритм: в программе "Компас" по рабочим чертежам создали трехмерную геометрическую модель каждой детали и произвели сборку узлов рабочей клетки; произвели импорт модели в препроцессор NastranPatran; выбрали материалы деталей, их механические и физические свойства (модуль упругости, массовую плотность, коэффициент Пуассона, предел прочности и т.п.); сформировали кинематические и статические граничные условия; смоделировали расчетную механическую схему, включающую распределение нагрузки по ширине прокатываемого листа, подвод крутящего момента к валкам (крутящий момент моделировался с использованием MPC элементов типа RBE2); используя опции MeshSeed, нанесли конечно-элементную сетку; определили напряженно-деформированное состояние; оценили уровень полученных упругих деформаций и напряжений в объеме каждой детали относительно требуемых критериев жесткости и прочности и ввели соответствующие изменения в конструкцию стана (твердотельную модель машины).

Прочность и жесткость рабочих (диаметр рабочих валков: $D_{P1} = 180$ мм; $D_{P2} = 150$ мм; $D_{P3} = 125$ мм; $D_{P4} = 100$ мм; $D_{P5} = 75$ мм) и опорных (диаметр всех опорных валков – $D_{OP} = 220$ мм) валков многофункционального стана исследовали при холодной (20 °С) и горячей (1100 °С) прокатке полос из стали 08кп размером $0,7 \times 100$ мм и $0,7 \times 400$ мм, соответственно. В качестве исходной заготовки использовали подкат толщиной $h_0 = 3,5$ мм.

Для холодной и горячей прокатки полосы в первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетки стана использовали следующие исходные данные (в порядке соответствия): высота полосы после прокатки – $h_1 = 2,576$ мм; $h_2 = 1,708$ мм; $h_3 = 1,148$ мм; $h_4 = 0,84$ мм; $h_5 = 0,7$ мм; абсолютное обжатие – $\Delta h_1 = 0,924$; $\Delta h_2 = 0,868$; $\Delta h_3 = 0,56$; $\Delta h_4 = 0,308$; $\Delta h_5 = 0,24$; единичное обжатие – $\varepsilon_1 = 26,4\%$; $\varepsilon_2 = 33,7\%$; $\varepsilon_3 = 32,8\%$; $\varepsilon_4 = 26,8\%$; $\varepsilon_5 = 16,7\%$; скорость полосы – $v_1 = h_5 \cdot v_5 / h_1 = 0,7 \cdot 2,085 / 2,576 = 0,5$ м/с; $v_2 = 0,68$ м/с; $v_3 = 1,03$ м/с; $v_4 = 1,526$ м/с; $v_5 = 2,085$ м/с;

Используя известную методику [6], определили энергосиловые параметры прокатки полос на продольно-клиновом стане.

При холодной прокатке для расчета прочности валков первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетей использованы следующие расчетные данные: максимальное усилие прокатки – $P_1 = 0,229$ МН; $P_2 = 0,216$ МН; $P_3 = 0,189$ МН; $P_4 = 0,132$ МН; $P_5 = 0,096$ МН; максимальный крутящий момент на одном рабочем валке – $M_{KP1} = 1,95$ кН·м; $M_{KP2} = 1,72$ кН·м; $M_{KP3} = 1,64$ кН·м; $M_{KP4} = 1,52$ кН·м; $M_{KP5} = 1,36$ кН·м; разность переднего и заднего натяжений, приложенная к двум рабочим валкам, – $T_1 = 2,46$ кН; $T_2 = 2,33$ кН; $T_3 = 2,14$ кН; $T_4 = 1,84$ кН; $T_5 = 1,62$ кН.

В случае горячей прокатки для расчета прочности валков первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетей использованы следующие расчетные данные: максимальное усилие прокатки – $P_1 = 0,241$ МН; $P_2 = 0,211$ МН; $P_3 = 0,192$ МН; $P_4 = 0,132$ МН; $P_5 = 0,096$ МН; максимальный крутящий момент на одном рабочем валке – $M_{KP1} = 2,13$ кН·м; $M_{KP2} = 1,98$ кН·м; $M_{KP3} = 1,59$ кН·м; $M_{KP4} = 1,48$ кН·м; $M_{KP5} = 1,36$ кН·м; разность переднего и заднего натяжений, приложенная к двум рабочим валкам, – $T_1 = 2,13$ кН; $T_2 = 2,21$ кН; $T_3 = 1,96$ кН; $T_4 = 1,79$ кН; $T_5 = 1,66$ кН.

Известно [6], что усилие, приложенное от металла на рабочие валки ($P_{раб}$), частично поглощается при упругой его деформации, а большая его часть передается на опорные валки ($P_{оп}$).

В работе рассчитывали отношения усилия прокатки на единицу ширины полосы и проверяли этим отношением возможность учета сплющивания валков при расчете усилия прокатки. Полученные результаты показали, что сплющивание валков можно не учитывать. Поэтому, по известной методике [6] произвели расчет усилий прокатки, действующих на рабочие и опорные валки всех клетей стана, без учета сплющивания.

Результаты расчета показали, что при холодной прокатке на рабочие и опорные валки прилагаются следующие усилия:

- первая клеть стана: $P_{раб} = 70,9$ кН; $P_{оп} = 158,1$ кН;
- вторая клеть стана: $P_{раб} = 87,45$ кН; $P_{оп} = 128,55$ кН;
- третья клеть стана: $P_{раб} = 68,5$ кН; $P_{оп} = 120,5$ кН;
- четвертая клеть стана: $P_{раб} = 35,7$ кН; $P_{оп} = 113,6$ кН;
- пятая клеть стана: $P_{раб} = 24,9$ кН; $P_{оп} = 84,3$ кН.

Результаты расчета показали, что при горячей прокатке на рабочие и опорные валки прилагаются следующие усилия:

- первая клеть стана: $P_{раб} = 74,61$ кН; $P_{оп} = 166,39$ кН;
- вторая клеть стана: $P_{раб} = 37,45$ кН; $P_{оп} = 163,45$ кН;
- третья клеть стана: $P_{раб} = 28,12$ кН; $P_{оп} = 153,18$ кН;
- четвертая клеть стана: $P_{раб} = 23,37$ кН; $P_{оп} = 121,53$ кН;
- пятая клеть стана: $P_{раб} = 17,6$ кН; $P_{оп} = 106,6$ кН.

Вышеприведенные данные использовали при расчете прочности и жесткости рабочих и опорных валков многофункционального стана.

Расчетная механическая схема первой, второй и третьей клетей многофункционального продольно-клинового стана при холодной и горячей прокатке показана на рисунках 2 и 3.

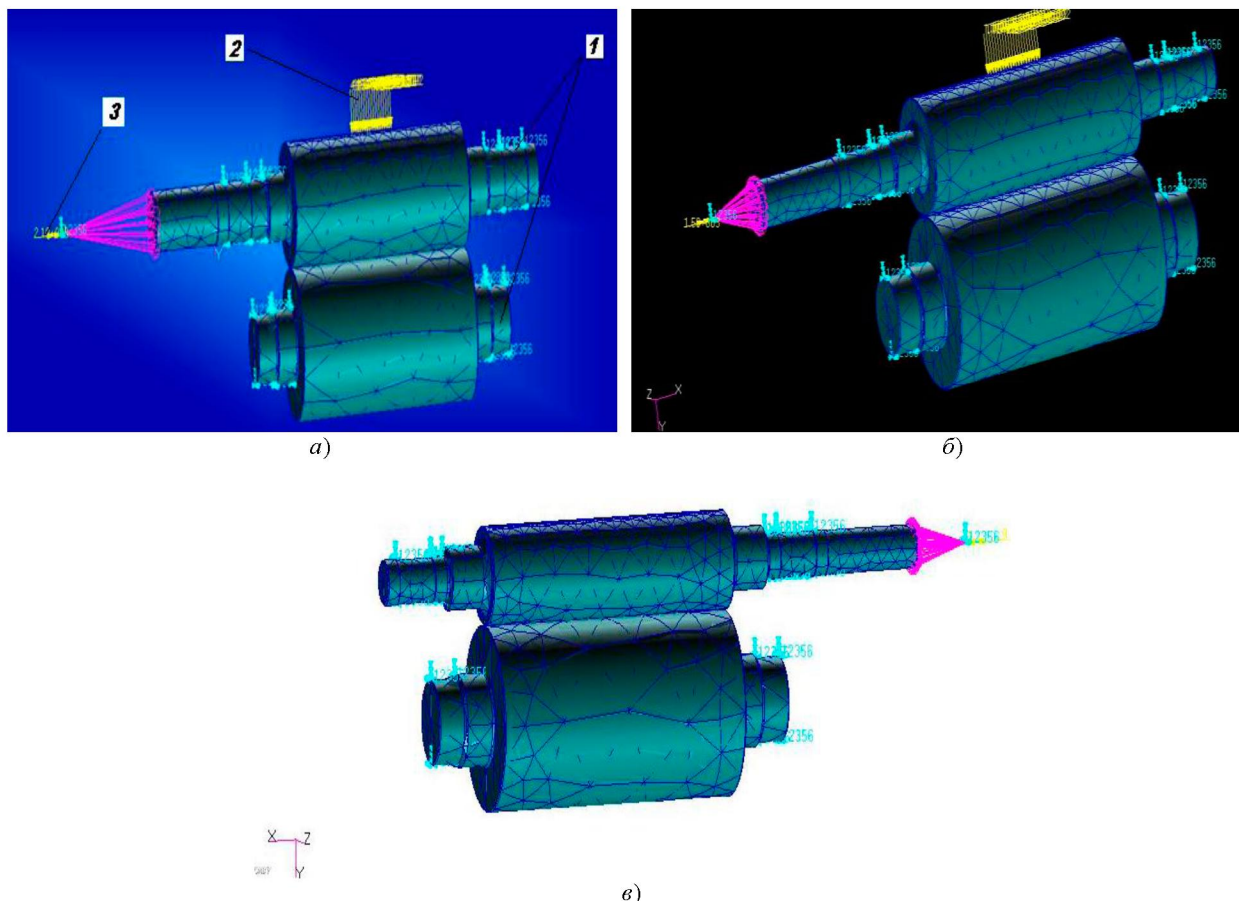


Рисунок 2 – Расчетная механическая схема валковой системы первой (а), второй (б) и третьей (в) клетки стана при холодной прокатке тонких полос: 1 – опоры на шейке рабочего вала; 2 – распределенная нагрузка по поверхности контакта бочки рабочего вала; 3 – приводной момент

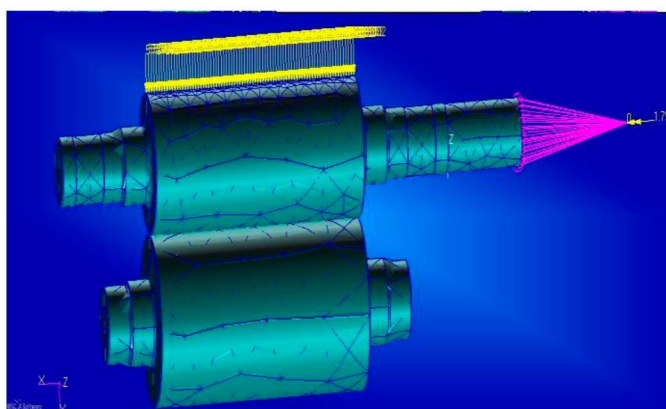


Рисунок 3 – Расчетная механическая схема валковой системы первой клетки при горячей прокатке тонких полос

Результаты исследования и их обсуждение

Проектируемый многофункциональный стан предполагается использовать при горячей и холодной прокатке полос шириной до 600 мм из различных сталей, а также из цветных металлов. Такая прокатка может привести к поломкам валков многофункционального стана. В связи с этим произведен расчет прочности валков при холодной прокатке полос шириной 100 мм и горячей прокатке полос шириной 400 мм.

На основе проведенных расчетов установлено, что при холодной прокатке полос из стали 08кп напряжения в теле валков первой клетки изменяются в пределах от 2,27 МПа до 18,2 МПа, причем

максимальные напряжения возникают в шейке валков (рисунок 4,а). Полученные максимальные значения эффективного напряжения не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности. Сравнение результатов расчета компьютерного моделирования с результатами аналитических расчетов показало, что в полученных данных имеются небольшие различия.

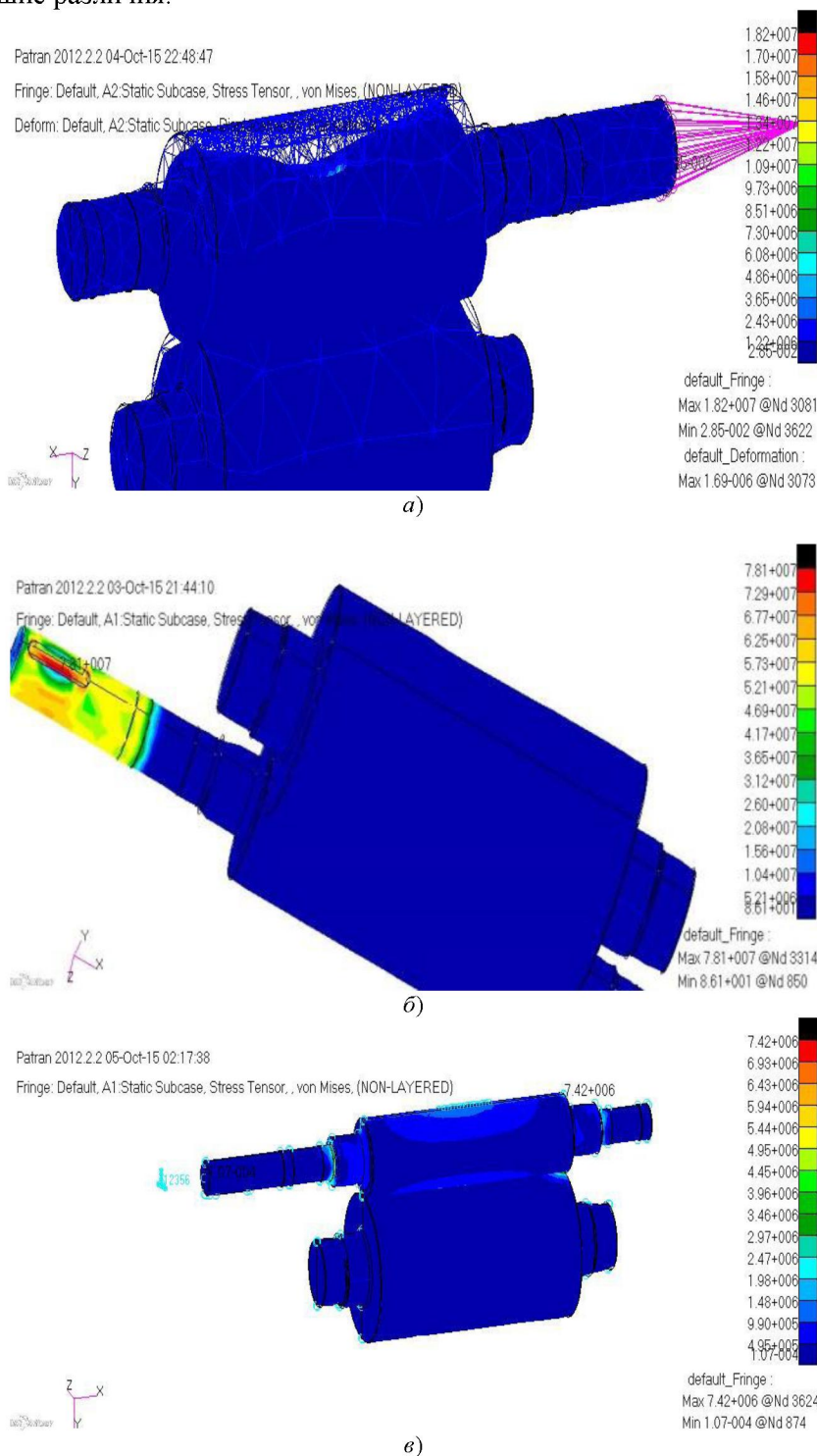


Рисунок 4 – Картина распределения эквивалентных напряжений в валковой системе первой (а), второй (б) и третьей (в) клетей стана

Необходимо отметить, что в существующих станах валковые узлы имеют малую жесткость в горизонтальной плоскости. Это связано с отсутствием опор в клетях стана, исключаяющих перемещение рабочих валков в горизонтальной плоскости, а также негоризонтальным расположением шпинделей привода стана. В результате даже небольшие зазоры между подшипниками, подушками и окнами станин, вызванные допусками посадок и износом, приводят к горизонтальным смещениям вертикальной осевой плоскости рабочих валков относительно опорных, т.е. рабочие валки оказываются в неустойчивом положении, а их оси могут перекашиваться. Это приводит к негативным последствиям: в валковом узле возникают повышенные вибрации, осевые усилия, а размер межвалкового зазора подвергается непрогнозируемым колебаниям, что снижает точность прокатки.

Для устранения этих недостатков в проектируемом многофункциональном стане предусмотрено применение подшипниковых клетей и шпинделей специальной конструкции. Осуществление вращения валков рабочих клетей через подшипниковые клетки позволяет строго горизонтально расположить шпиндели, а применение шпинделей специальной конструкции позволяет устранить горизонтальное перемещение рабочих валков. Вышеотмеченные особенности проектируемого стана позволяют без вибрационной нагрузки передавать крутящие моменты к рабочим валкам клетей стана. Все это способствует получению полос с точными геометрическими размерами.

Картина распределения напряженно-деформированного состояния валковой системы второй клетки проектируемого стана незначительно изменилась по сравнению с первой клетью (рисунок 4,б).

Из представленных результатов видно, что уменьшение геометрических размеров рабочих валков второй клетки приводит к концентрации напряжений в приводной шейке валка, а именно в шпоночном пазе (значение данного напряжения равняется $\sigma_{эжв} = 78$ МПа). Следует отметить, что, несмотря на такую концентрацию эквивалентных напряжений, возникаемые напряжения не превосходят предела прочности материала и не приводят к разрушению валков.

На основе результатов исследования было установлено, что уменьшение геометрических размеров рабочих валков третьей, четвертой и пятой клетей также приводит к концентрации напряжений в шейке и в центральной части бочки валка (рисунок 4,в). Эквивалентные напряжения в теле валков изменяются в пределах от 9,27 МПа до 109 МПа. Следует отметить, что, несмотря на концентрацию эквивалентных напряжений в шейке валка, возникаемые напряжения не превосходят предела прочности материала и не приводят к разрушению валков. Коэффициент запаса равняется 5,5.

На визуализированных результатах хорошо видно, каким образом передаются изгибы рабочих валков к опорным валкам (рисунок 5). Проведенные исследования показали, что картина распределения суммарных перемещений в трех направлениях согласуется с деформированной формой валков. Максимальный прогиб $f_{\max} = 0,001$ мм наблюдается в середине бочки валков. Полученные значения прогиба соответствуют параметрам валков по жесткости (суммарный изгиб, допускаемый при холодной прокатке, равняется $f = 0,05 \div 0,3$ [3]). Под действием приложенных вертикальных сил валки первой клетки прогибаются в направлении действия силы, а шейки валков упруго деформируются в этом же направлении, причем максимальное значение упругой деформации составляет для бочки валков 0,00064, для шейки валков – 0,00032 (рисунок 5,а).

Анализ полученных результатов показывает, что при прокатке во второй клетке возникаемая величина суммарных перемещений и картина их распределения является аналогичной прокатке в первой клетке (рисунок 5,б). Величина суммарных перемещений валков обеих клетей достаточно мала, что позволяет сделать вывод о достаточной жесткости валковой системы и об улучшении параметров разнотолщинности от клетки к клетке.

Следует отметить, что в целом величина упругой деформации и перемещения элементов валков третьей, четвертой и пятой клетей невелика, что свидетельствует о достаточно высокой жесткости узла валков рабочей клетки (рисунок 5,в). Это гарантирует получение поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос в пределах требуемых допускаемых отклонений.

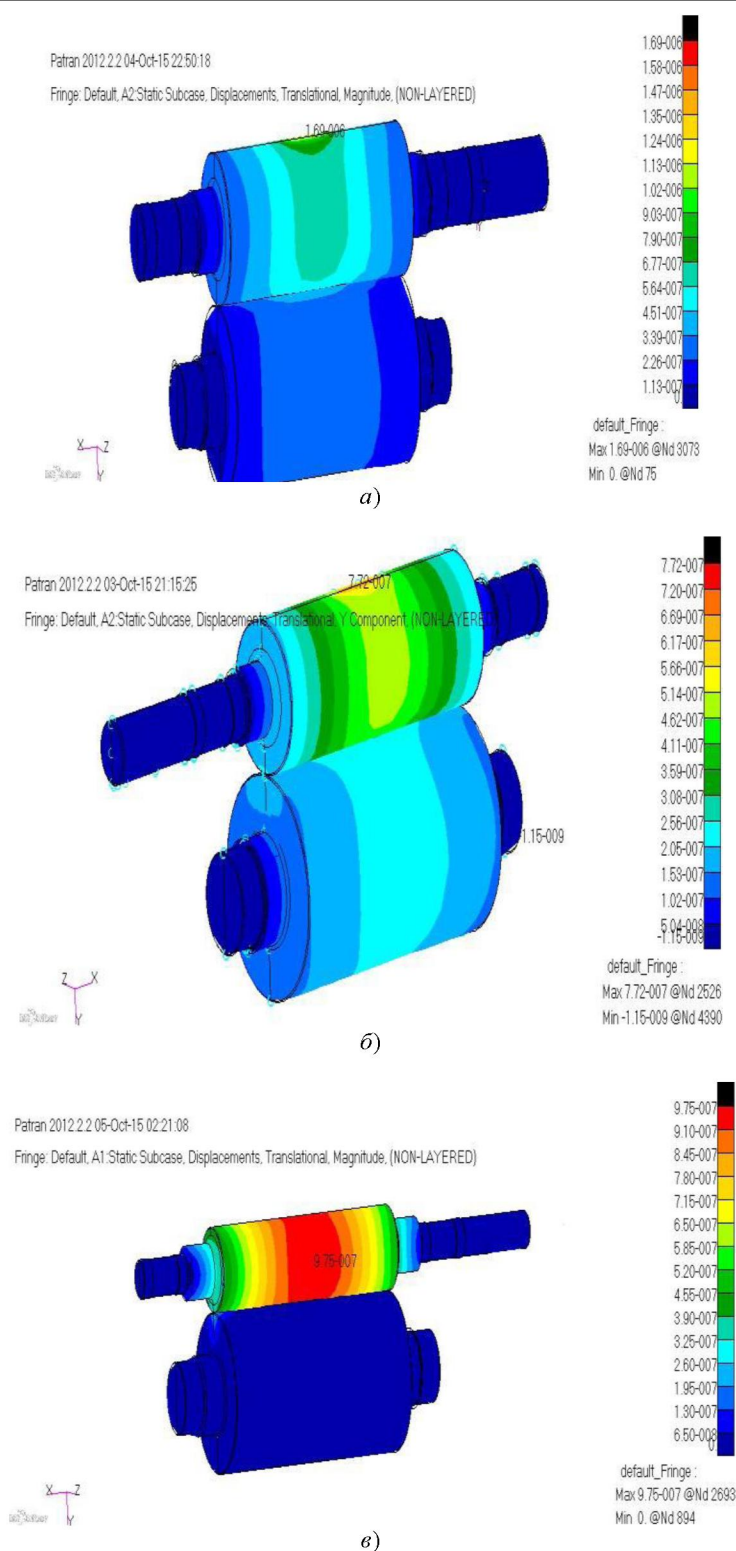
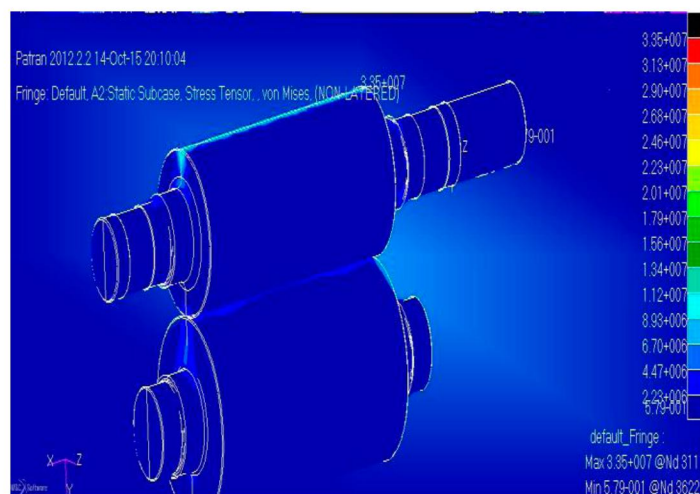


Рисунок 5 – Картина распределения суммарных перемещений валковой системы первой клетки

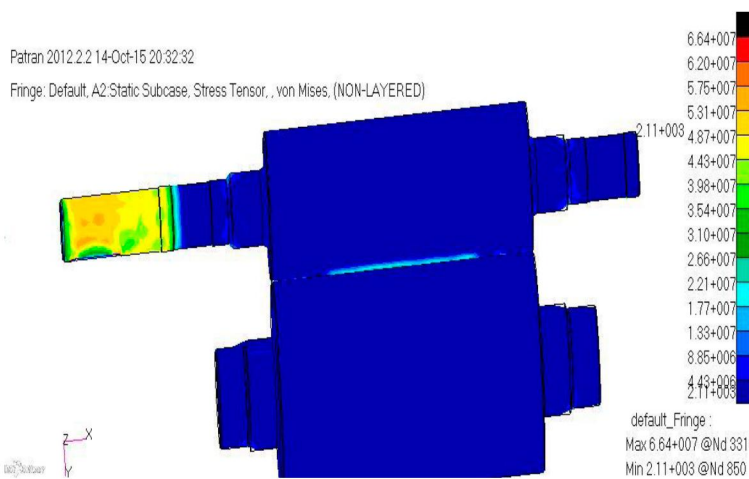
Проведенное исследование показало, что при горячей прокатке полос из углеродистой стали шириной 400 мм по сечению валков не возникают большие по величине эквивалентные напряжения (рисунок 6). Максимальное значение эквивалентного напряжения равняется 33,5 МПа.

На основе проведенных расчетов установлено, что при горячей прокатке полос из стали 08кп напряжения в теле валков первой клетки изменяются в пределах от 4,47 Па до 13,4 МПа, причем,

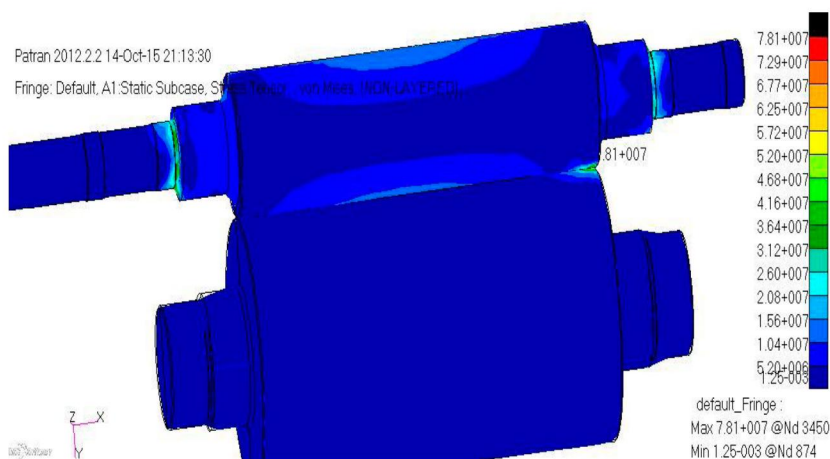
максимальное напряжение возникает в шейке валков (рисунок 6,а). Полученные максимальные значения эффективного напряжения не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности.



а)



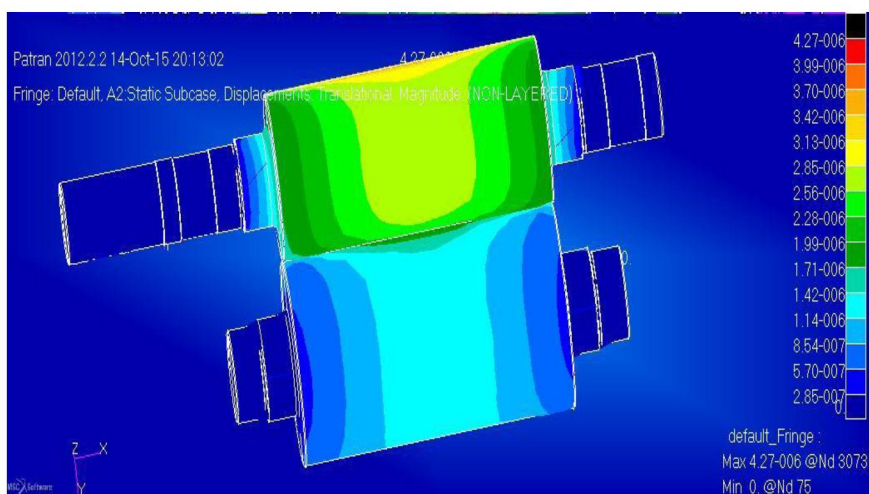
б)



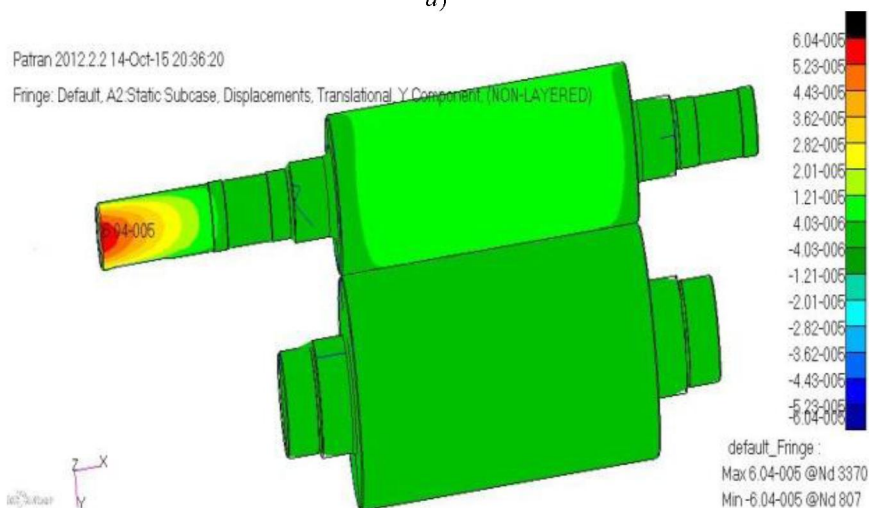
в)

Рисунок 6 – Картина распределения эквивалентных напряжений в валковой системе первой (а), второй (б) и третьей (в) клеток

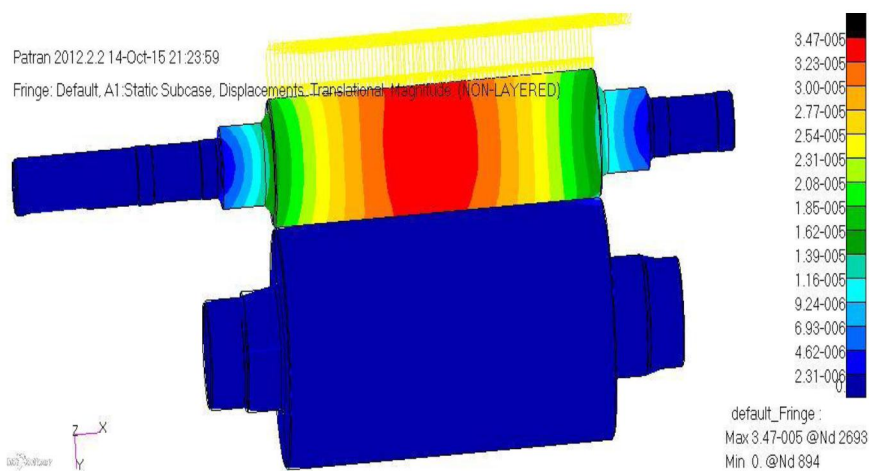
Картина распределения напряженно-деформированного состояния валковой системы второй клетки проектируемого стана незначительно изменилась по сравнению с первой клетью (рисунок 6,б).



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Картина распределения суммарных перемещений валковой системы первой (а), второй (б) и третьей (в) клетей стана

Из представленных результатов видно, что уменьшение геометрических размеров рабочих валков второй клетки приводит к концентрации напряжений в приводной шейке валка, а именно в шпоночном пазе (значение данного напряжения равняется $\sigma_{\text{эКв}} = 48,7$ МПа). Следует отметить, что, несмотря на такую концентрацию эквивалентных напряжений, возникаемые напряжения не превосходят предела прочности материала и не приводят к разрушению валков.

На основе использования результатов исследования было установлено, что уменьшение геометрических размеров рабочих валков третьей, четвертой и пятой клетей также приводит к концентрации напряжений в шейке и в центральной части бочки валка (рисунок 6,в). Следует отметить, что, несмотря на концентрацию эквивалентных напряжений в шейке валка, возникаемые напряжения не превосходят предела прочности материала и не приводят к разрушению валков.

Из картины распределения суммарных перемещений хорошо видно, каким образом передаются изгибы рабочих валков к опорным валкам (рисунок 7). Проведенные исследования показали, что картина распределения суммарных перемещений в трех направлениях согласуется с деформированной формой валков. Максимальный прогиб $f_{\text{max}} = 0,002$ мм наблюдается в середине бочки валков. Полученные значения прогиба соответствуют параметрам валков по жесткости (суммарный изгиб, допускаемый при горячей прокатке, равен $f = 0,3 \div 1,0$ [3]). Под действием приложенных вертикальных сил валки первой клетки прогибаются в направлении действия силы, а шейки валков упруго деформируются в этом же направлении, причем максимальное значение упругой деформации составляет для бочки валков 0,002, для шейки валков – 0,004 (рисунок 7,а).

Анализ полученных результатов показывает, что при прокатке во второй клетки возникаемая величина суммарных перемещений и картина их распределения является аналогичной прокатке в первой клетки (рисунок 7,б). Величина суммарных перемещений валков обеих клетей достаточно мала, что позволяет сделать вывод о достаточной жесткости валковой системы и об улучшении параметров разнотолщинности от клетки к клетю.

Следует отметить, что в целом величина упругой деформации и перемещения элементов валков третьей, четвертой и пятой клетях невелика, что свидетельствует о достаточно высокой жесткости узла валков рабочей клетки (рисунок 7,в). Это гарантирует получение поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос в пределах требуемых допускаемых отклонений.

Выводы

1. Под действием приложенных вертикальных сил валки прогибаются в направлении действия силы, а шейки валков упруго деформируются в этом же направлении, при этом картина распределения суммарных перемещений в трех направлениях согласуется с деформированной формой валков. Максимальный прогиб наблюдается в шейке и срединной части валков.

2. Максимальные значения эффективного напряжения не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности.

3. Спроектированные валки многофункционального стана обладают достаточным коэффициентом запаса прочности.

4. Установленные значения прогибов валков в каждой клетю не превышают допускаемых значений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Машеков С.А., Абсадыков Б.Н. Проблемы и перспективы прокатного производства. Монография. Алматы: Казахстанско-Британский технический университет, 2012. – 300 с.
- [2] Перспективные конструкции прецизионных станов /А.Н. Кулик, К.Ю. Юрков, А.А. Файчак, В.В. Шевченко // http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008_10/3.pdf.
- [3] Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические приложения). – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
- [4] Патент 20969. Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов/ Е.З. Нугман, А.С. Машекова и др. //Опубл. 16.03.2009, Бюл. №3.
- [5] Иванов К.М., Шевченко В.С., Юргенсон Э.Е. Метод конечных элементов в технологических задачах ОМД: Учебное пособие. С-Пб: Институт машиностроения, 2000. - 217 с.
- [6] Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханнин М.И. Технология прокатного производства // Учебник для вузов. – М: Металлургия, 1994. – 656 с.

REFERENCES

- [1] Mashekov S.A., Absadykov B.N. Problemy i perspektivy prokatnogo proizvodstva. Monografiya. Almaty: Kazhastansko-Britanskiy tehnicheskiy universitet, **2012**. 300 s. (in Russ.).
- [2] Perspektivnye konstrukcii precizionnyh stanov /A.N. Kulik, K.Ju. Jurkov, A.A. Fajchak, V.V. Shevchenko // http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/zimmvp/2008_10/3.pdf. (in Russ.).
- [3] Mazur V.L., Nogovicyn A.V. Teoriya i tehnologiya tonkolistovoj prokatki (Chislennyj analiz i tehnicheskie prilozheniya). – Dnepropetrovsk: RVA «Dnipro-VAL», **2010**. – 500 s. (in Russ.).
- [4] Patent 20969. Nepreryvnyj stan dlja prokatki polos iz stalej i splavov/ E.Z. Nugman, A.S. Mashekova i dr. //Opubl. 16.03.2009, Bjul. №3. (in Russ.).
- [5] Ivanov K.M., Shevchenko V.S., Jurgenson Je.E. Metod konechnyh jelementov v tehnologicheskix zadachax OMD: Uchebnoe posobie. S-Pb: Institut mashinostroenija, **2000**. 217 s. (in Russ.).
- [6] Grudev A.P., Mashkin L.F., Hanin M.I. Tehnologiya prokatnogo proizvodstva // Uchebnik dlja vuzov. M: Metallurgija, **1994**. 656 s. (in Russ.).

МЕТАЛДАР МЕН ҚҰЙЫНДЫЛАРДАН ЖІНІШКЕ ТІЛКЕМДЕРДІҢ НАҚТЫЛЫҒЫН КӨТЕРУ МАҚСАТЫНДА КӨП ФУНКЦИОНАЛЫ БОЙЛЫҚ-СЫНА ОРНАҚТЫҢ ҚАТТЫЛЫҒЫН МОДЕЛЬДЕУ

С.А. Машеков¹, Б.Н. Абсадықов², М.Л. Рахматулин¹,
М.Е. Исаметова¹, Е.З. Нұғман¹, А.С. Машекова¹

¹ Қ.И. Сатбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан Республикасы

² Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Түйін сөздер: көп функционалы орнақ, икемдеу, жұмыс қаумасы, тірек қаумасы, жұмыс көтермесі.

Аннотация. Мақалада жаңа конструкцияның көп функционалы орнағы ұсынылған. Көп функционалды бойлық-сына орнағының негізгі техникалық сипаттамасы икемдеу бағытында жұмыс қаумалар диаметрінің азаюы және 15 кВт күшімен бес мотор-бәсендеткіштермен мойынтірек көтермелер арқылы жұмыс қаумалардың айналуы, және де екі бірінші үш көтермесінде және соңғы төрт қаумаларындағы екі көтермелердің орнатуы болып табылады. Жоспарланған көп функционалы бойлық-сына орнақтың техникалық сипаттамасы болат пен құйындыдан жасалған ыстық тапталған және суық тапталған жіңішке тілкемдер, қалыңдығы 1 мм кемірек мыс тілкемдерін, қалыңдығы 2–0,5 мм титанды және алюминді тілкемдер, қалыңдығы 2 мм кемірек күміс тілкемдер, асыл металл прокатын және т.б. өндеуге мүмкіндік береді. Металды өндеу үдерістердің есептеуіне арналған MSC.visualNastran 4D мамандандырылған бағдарламалық өнімнің көмегімен ұсынылған орнақтың ауыр жүктеулі элементтерінің дүбірлі-сыяқсыздандырылған жағдайы есептелген. Жаңа орнақта икемдеу кезінде серпінді сыяқсыздандыру мен қаумалар элементтерінің жылжу шамасы үлкен емес екені дәлелденген. Сонымен қатар, орындалған зерттеу негізінде жұмыс көтермесінің қаумалар түйінінің айтарлықтай жоғары қаттылығы дәлелденген.

Поступила 13.04.2016 г.